

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**LIBEREC 2011**

**Bc. LENKA VEJSADOVÁ**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**



Studijní program: N3108 Průmyslový management  
Studijní obor: 3106T014 Produktový management – Textil

**ANTIBAKTERIÁLNÍ VLASTNOSTI TEXTILÍ S**  
**FOTOAKTIVNÍM TiO<sub>2</sub>**

**ANTIBACTERIAL PROPERTIES TEXTILES WITH**  
**FOTOACTIVE TiO<sub>2</sub>**

Autor: **Bc. LENKA VEJSADOVÁ**

KHT – 085

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jana Čandová

Konzultant: Doc. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

**Rozsah diplomové práce:**

Počet stran textu ...82

Počet obrázků .....48

Počet tabulek .....11

Počet grafů..... 9

Počet stran příloh..11

# **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

# PROHLÁŠENÍ

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 2. 5. 2011

Podpis: .....  
Bc. Lenka Vejsadová

## PODĚKOVÁNÍ

Mou milou povinností je poděkování mé vedoucí diplomové práce paní Ing. Janě Čandové a konzultantovi panu Doc. Ing. Jakubovi Wienerovi, Ph.D. za cenné rady, konzultace, připomínky k práci a za odborné vedení při její tvorbě.

Dále bych chtěla touto cestou poděkovat firmě FRUTANA spol. s.r.o., Fügnerova 306, 388 01 Blatná za dodání vzorků: „Sušené kultury vinných kvasinek“ a „Živné soli“, bez které by moje práce nemohla být realizovaná.

Poděkování také patří paní Ing. Janě Grabmüllerové za pořízení porovnávacích snímků nanočástic  $\text{TiO}_2$  na textilií s bavlněnou tkaninou, z rastrovací elektronové mikroskopie.

Ráda bych také poděkovala svým rodičům, kteří mně umožnili studium na vysoké škole a po celou jeho dobu mě podporovali, jak po stránce psychické tak fyzické a vytvořili mně výborné zázemí.

# ANOTACE

Cílem diplomové práce je testování antibakteriálních vlastností textilií obsahujících fotoaktivní nanočástice  $\text{TiO}_2$  a při působení UV záření.

Teoretická část je zaměřena na fotokatalýzu, oxid titaničitý, fermentaci, vlastnosti mikroorganismů, především na bakterie a modelové organismy a antibakteriální úpravy. Důraz je kladen především na princip a využití fotokatalýzy, s tím související samočistící povrchy.

Experimentální část bezprostředně navazuje na teoretický výzkum. Modelové organismy (kvasinky) v roztoku, či na nanesených textiliích se testují a vyhodnocují podle originálního postupu.

Fotoaktivní nanočástice  $\text{TiO}_2$  byly nanášeny na zvolenou textilií (bavlna). Postupně byly sledovány antibakteriální účinky úpravy fotoaktivními nanočásticemi  $\text{TiO}_2$ .

## KLÍČOVÁ SLOVA:

Fotokatalýza

Ultrafialové záření

Oxid titaničitý

Mikroorganismy

Fermentace

Antibakteriální úpravy

## ANNOTATION

The aim of the thesis is to test the antibacterial properties of textiles containing photoactive TiO<sub>2</sub> nanoparticles and UV radiation.

The theoretical part focuses on the photocatalysis, titanium dioxide, fermentation characteristics of microorganisms, mainly bacteria and model organisms, and antibacterial treatment. Emphasis is placed on the principle and use of photocatalysis, and related self-cleaning surfaces.

The experimental part is directly related to theoretical research. Model organisms (yeast) in solution or deposited on the fabrics are tested and evaluated according to the original procedure.

Photoactive TiO<sub>2</sub> nanoparticles were deposited on the selected fabric (cotton). Gradually the observed antibacterial treatment photoactive TiO<sub>2</sub> nanoparticles.

### KEY WORDS:

Photocatalysis

Ultraviolet radiation

Titanium dioxide

Microorganisms

Fermentation

Antibacterial treatment

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| Zkratka    | Význam   |
|------------|--|
| např.      | například  |
| atd.       | a tak dále                                       |
| aj.        | a jiné   |
| popř.      | popřípadě  |
| apod.      | a podobně  |
| tzv.       | tak zvaně  |
| resp.      | respektive                                       |
| kap.       | kapitola   |
| tab.       | tabulka  |
| obr.       | obrázek  |
| UVA záření | Ultrafialové záření, typu A [-]                  |
| REM        | Rastrovací environmentální elektronový mikroskop |
| E. Coli    | Escherichia coli                                 |
| ATP        | adenosintrifosfát                                |
| rRNA       | ribozomální ribonukleová kyselina                |
| 16S rRNA   | úsek ribozomální ribonukleové kyseliny           |
| NADH       | nicotinamid adenin dinucleotid hydrid            |

| Symbol    | Význam [Jednotka]  |
|-----------|--|
| l         | metr [m], mikro- [ $\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$ ] nano- [ $\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ] |
| $\lambda$ | Vlnová délka [nm]  |
| E         | Zářivá energie [J]   |
| U         | Elektrické napětí [V]  |
| $F_r$     | Pevnost v tahu / [mN/tex], [cN/dtex]   |
| m/l       | Jemnost vlákna [tex], [dtex=g/10 km]   |
| t         | čas [min]  |
| V         | objem [ml]   |
| c         | Koncentrace roztoku [g/l], [mol/l]   |
| $T_r$     | Teplota roztoku [ $^{\circ}\text{C}$ ]   |



# **OBSAH**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. ÚVOD .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>2. TEORETICKÁ ČÁST .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>2.1 FOTOKATALÝZA .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>2.2 Princip fotokatalýzy .....</b>                                      | <b>12</b> |
| <b>2.3 Využití fotokatalýzy.....</b>                                       | <b>13</b> |
| 2.3.1 Samočistící povrchy .....  | 13        |
| <b>2.4 CHARAKTERISTIKA ZDROJŮ ZÁŘENÍ POUŽÍVANÝCH VE FOTOKATALÝZE .....</b> | <b>14</b> |
| 2.4.1 Světlo.....  | 15        |
| 2.4.2 Elektromagnetické záření .....                                       | 15        |
| <b>2.5 OXID TITANIČITÝ .....</b>   | <b>17</b> |
| 2.5.1 Modifikace TiO <sub>2</sub> .....                                    | 18        |
| 2.5.2 Výroba TiO <sub>2</sub> .....  | 19        |
| 2.5.3 Použití TiO <sub>2</sub> .....                                       | 20        |
| 2.5.4 Fotoaktivní oxid titaničitý .....                                    | 21        |
| 2.5.5 Fotokatalytická sterilizace .....                                    | 22        |
| <b>2.6 MIKROORGANISMY .....</b>  | <b>23</b> |
| 2.6.1 Rozdělní mikroorganismů .....  | 23        |
| 2.6.1.1 Bakterie.....  | 24        |
| 2.6.1.2 Kvasinky .....   | 30        |
| <b>2.7 FERMENTACE.....</b>   | <b>35</b> |
| <b>2.8 ANTIBAKTERIÁLNÍ ÚPRAVY .....</b>                                    | <b>38</b> |
| 2.8.1 Baktericidní úprava.....   | 38        |
| 2.8.2 Hygienická úprava.....   | 41        |
| <b>3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>  | <b>42</b> |
| <b>3.1 CHARAKTERISTIKA POUŽITÉHO MATERIÁLU .....</b>                       | <b>42</b> |
| 3.1.1 Normovaná bavlněná tkanina .....                                     | 42        |
| <b>3.2 CHEMIKÁLIE POUŽITÉ PŘI EXPERIMENTU .....</b>                        | <b>45</b> |
| 3.2.1 Sušené kultury vinných kvasinek - hlubokoprovášejší .....            | 45        |
| 3.2.2 Živná sůl .....  | 45        |
| 3.2.3 Sacharóza.....   | 45        |
| 3.2.4 Kyselina sírová o koncentraci 20g/l .....                            | 46        |
| 3.2.5 AEROXIDE TiO <sub>2</sub> P-25 .....                                 | 46        |
| <b>3.3 ZAŘÍZENÍ POUŽITÉ PŘI EXPERIMENTU .....</b>                          | <b>48</b> |
| 3.3.1 Analytická váha .....  | 48        |
| 3.3.2 UV lampa.....  | 48        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 3.3.3      | Magnetické míchadlo .....  | 49        |
| 3.3.4      | Ultrazvukový homogenizátor .....   | 49        |
| 3.3.5      | Fulár.....   | 50        |
| <b>3.4</b> | <b>USPOŘÁDÁNÍ EXPERIMENTU.....</b>   | <b>50</b> |
| 3.4.1      | Aparatura pro kvasící proces (fermentaci) .....  | 53        |
| 3.4.2      | Aparatura pro ozařování .....  | 54        |
| <b>3.5</b> | <b>METODIKA ZPRACOVÁNÍ EXPERIMENTU .....</b>   | <b>55</b> |
| 3.5.1      | Standardní příprava roztoků .....  | 55        |
| 3.5.2      | Nános suspenze TiO <sub>2</sub> na normovanou bavlněnou textilií.....  | 56        |
| <b>3.6</b> | <b>SNÍMKY VZORKŮ Z REM .....</b>   | <b>57</b> |
| <b>3.7</b> | <b>POPIS EXPERIMENTŮ .....</b>   | <b>61</b> |
| 3.7.1      | Testování kvasící aktivity na slepém pokusu .....  | 61        |
| 3.7.2      | Testování kvasící aktivity na roztocích ovlivněné různou dobou ozařování<br>UVA .....                                  | 61        |
| 3.7.3      | Testování fotokatalýzy na roztocích ovlivněné různou dobou ozařování<br>UVA .....                                      | 62        |
| 3.7.4      | Testování kvasící aktivity na bavlněné tkaniny ovlivněné různou dobou<br>ozařování UVA.....                            | 63        |
| 3.7.4.1    | Ozařování velkého množství testačního roztoku (50ml).....  | 63        |
| 3.7.4.2    | Ozařování malého množství testačního roztoku (5ml).....  | 64        |
| 3.7.5      | Testování nánosu „suspenze TiO <sub>2</sub> “ na bavlněné tkanině ovlivněné různou<br>dobou ozařování UVA.....         | 65        |
| 3.7.5.1    | Ozařování velkého množství testačního roztoku (50ml).....  | 65        |
| 3.7.5.2    | Ozařování malého množství testačního roztoku (5ml).....  | 66        |
| <b>3.8</b> | <b>VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU .....</b>  | <b>67</b> |
| 3.8.1      | Průběh slepého kvasícího pokusu.....   | 67        |
| 3.8.2      | Průběh kvašení na roztocích ovlivněný různou dobou ozařování UVA .....   | 68        |
| 3.8.3      | Průběh fotokatalýzy na roztocích ovlivněný různou dobou ozařování UVA..<br>.....                                       | 69        |
| 3.8.4      | Průběh kvašení na bavlněné tkaniny ovlivněný různou dobou ozařování<br>UVA .....                                       | 70        |
| 3.8.4.1    | Ozařování velkého množství testačního roztoku (50ml).....  | 70        |
| 3.8.4.2    | Ozařování malého množství testačního roztoku (5ml).....  | 71        |
| 3.8.5      | Průběh kvašení s nánosem „suspenze TiO <sub>2</sub> “ na bavlněné tkanině ovlivněný<br>různou dobou ozařování UVA..... | 72        |
| 3.8.5.1    | Ozařování velkého množství testačního roztoku (50ml).....  | 72        |
| 3.8.5.2    | Ozařování malého množství testačního roztoku (5ml).....  | 73        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 3.8.6     | Působení silnějších zdrojů UVA záření na kvasinky.....               | 73        |
| 3.8.7     | Vzájemné porovnání všech prováděných experimentů na kvasinkách ..... | 74        |
| <b>4.</b> | <b>ZÁVĚR .....</b>   | <b>76</b> |
| <b>5.</b> | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>                               | <b>77</b> |

## 1. ÚVOD

Fotokatalýza je proces, který je pro současný průmysl stále důležitější a atraktivnější. Aktivně se totiž podílí na zlepšení úrovně životního prostředí. V průmyslu se začínají vyvíjet výrobky, které mají fotokatalytické vlastnosti, v některých oblastech došlo již i k uplatnění těchto výrobků na trhu.

Jedním z vhodných materiálů je oxid titaničitý  $\text{TiO}_2$ . Tento materiál je zkoumán v laboratořích pro svou fotoaktivitu, chemickou odolnost a optické vlastnosti. Jedním z projevů fotoaktivity je i fotokatalýza. Díky fotokatalytickým účinkům dokáže  $\text{TiO}_2$  rozkládat různé organické sloučeniny (čištění vzduchu, odpadních vod a likvidace odpadních látek). Fotokatalýza se projevuje poté, co je materiál ozářen UV zářením.

Oxid titaničitý má nejvyšší účinnost fotoaktivity, nejvyšší stabilitu a nejnižší cenu. Na povrchu nanočástic oxidu titaničitého probíhají dva typy reakcí (fotodegradace a hydrofilní přeměna). Procesy probíhající na povrchu oxidu titaničitého jsou podobné těm, pomocí kterých rostliny získávají svoji energii a udržují svoje životní aktivity. Oxid titaničitý je výborný fotokatalyzátor, vyniká svými antibakteriálními účinky. Aplikace fotokatalýzy je využití v čištění vzduchu a vod, při ničení rakovinných buněk, samočisticích materiálech, protizamlžování a samosterilizaci. Fotokatalytická technologie je pro současný průmysl velmi důležitá, protože celosvětové znečištění životního prostředí je tak alarmující, že je uznáváno jako globální problém, na něj je potřeba se zaměřit.

Stejně jako v jiných odvětvích i v textilním průmyslu dochází k vyšším požadavkům ze strany zákazníka, což vede k vylepšování stávajících technologií a zároveň k vyvíjení nových směrů a cest pro zdokonalení nejen materiálů, ale i jejich vlastností. Je třeba zlepšit fotokatalytické vlastnosti materiálu, v průmyslu se začínají vyvíjet výrobky, které mají fotokatalytické vlastnosti.

Tématem této diplomové práce je výzkum antibakteriálních účinků působení fotoaktivních nanočástic  $\text{TiO}_2$  na roztocích a na textilií (bavlnu). Jako testované modelové organismy byly použity nakonec pouze kvasinky. Velký důraz je kladen hlavně na experimentální část. V laboratořích TU v Liberci jsem provedla a podle teoretických poznatků vyhodnotila řadu experimentů. Podle teorie jsem hodnotila výsledky experimentů a naopak, podle výsledků testů jsem prováděla reflexi k samotné teoretické části.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 FOTOKATALÝZA

Fotokatalýza je proces chemického rozkladu látek za přítomnosti fotokatalyzátoru a světelného záření. Principiálně vychází z fotolýzy, přirozeného rozkladu některých látek působením světla, urychlené přítomností fotokatalyzátoru.

Je-li materiál s fotokatalytickými vlastnostmi vystaven světelnému záření vhodné vlnové délky, aktivuje se jeho povrch a spustí se charakteristická reakce. Primárně vzniklý volný pár elektron-díra a hydroxylové radikály sekundárně vznikající kontaktem excitované molekuly fotokatalyzátoru a vodní páry rozkládají přítomné organické a anorganické substance.

*Mezi látky rozložitelné fotokatalýzou patří* např. **oxidy dusíku** ( $\text{NO}_x$ ), **oxidy síry** ( $\text{SO}_x$ ), **oxid uhelnatý** ( $\text{CO}$ ), **ozón** ( $\text{O}_3$ ), **čpavek** ( $\text{NH}_3$ ), **sirovodík** ( $\text{H}_2\text{S}$ ), **chlorované uhlovodíky** (např.  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{C}_2\text{HCl}_3$ ,  $\text{C}_2\text{Cl}_4$ ), **dioxiny**, **chlorbenzen**, **chlorfenol**, **jednoduché uhlovodíky** (např.  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_3\text{H}_6$ ), **aromatické uhlovodíky** (benzen, fenol, toluen, etylbenzen, o-xylen), **pesticidy** (Tradimefon, Primicarb, Asulam, Diazinon, MPMC, atrazin) a také **bakterie**, **viry**, **houby** nebo **částice mikroprachu**.

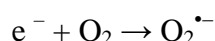
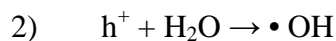
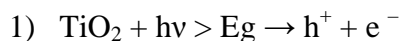
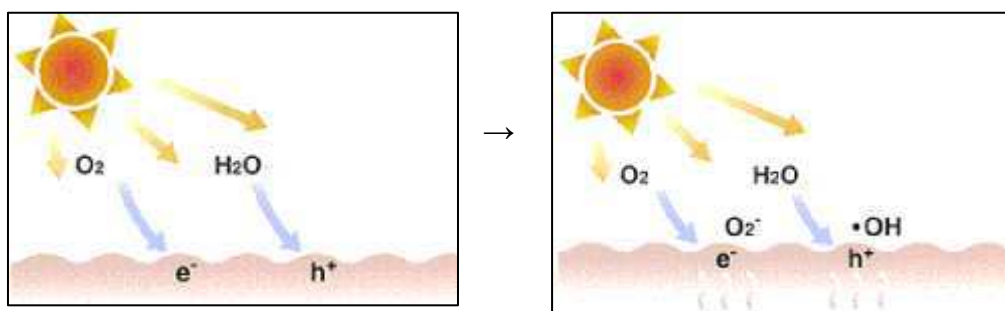
Konečným produktem pak bývají běžné a stabilní sloučeniny. Konkrétní průmyslové aplikace principu fotokatalýzy se mohou lišit především druhem katalyzátoru. Nejčastěji je používán nanokrystalický **oxid titaničitý**  $\text{TiO}_2$ , který je aktivován UV-A zářením [1].

### 2.2 Princip fotokatalýzy

Na konci 60. let 20. století byla objevena fotolýza vody prostřednictvím materiálů  $\text{TiO}_2$ .

Fotokatalýza je chemický proces rozkladu látek za přítomnosti fotokatalyzátoru a záření.

Na obrázcích je zobrazen princip fotokatalýzy [2].



3) díry  $h^+$ , elektrony  $e^-$ , hydroxylové radikály  $\bullet\text{OH}$  a superoxidové radikálové anionty  $\text{O}_2^{\bullet-}$  → postupný rozklad organických látek na povrchu  $\text{TiO}_2$  až na neškodné  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{CO}_2$  [2].

## 2.3 Využití fotokatalýzy

Dělí se na dvě základní oblasti:

- **samočištění** - díky fotokatalýze je povrch materiálu odolný proti rozvoji organických nečistot a dlouhodobě si tak udržuje původní vzhled a barvu;
- **čištění okolního média - znečištěného vzduchu či vody** umožňuje potlačit některé nepříznivé důsledky lidské činnosti, např. znečištění ovzduší hustě osídlených oblastí.

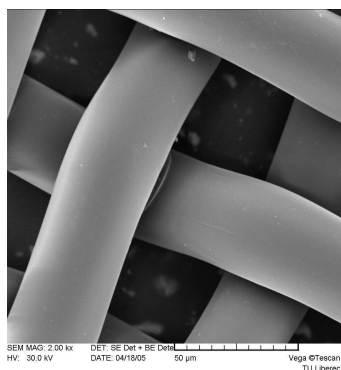
Obě uvedené oblasti použití spolu velmi úzce souvisí - jedná se vlastně jen o dva poněkud odlišné důsledky totožné reakce. V případě **samočištění** je ale důraz kladen na rozklad pevných látek na povrchu materiálu, zatímco v případě **čištění okolního média** je určující schopnost aktivovaného materiálu rozkládat konkrétní látku v blízkosti povrchu považovanou za nežádoucí [1].

### 2.3.1 Samočištěcí povrchy

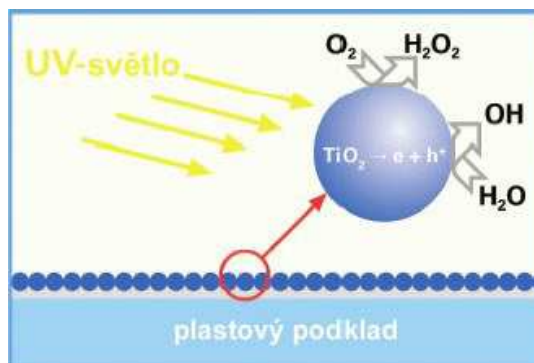
Tři základní principy: 1.) Mikroskopicky velmi hladký, 2.) Mikroskopicky velmi drsný super-hydrofobní 3.) Hydrofilní – foto-katalyticky aktivní.

**Mezi hydrofilní – foto-katalyticky aktivní povrchy** patří oxidy a sulfidy:  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnS}$ . Mají schopnost rozkladu (degradace) organických látek po osvětlení.

Na polyesterové tkanině o ploše více než  $\text{m}^2/\text{kg}$  je nanесena bezbarvá vrstva nanočástic  $\text{TiO}_2$  – anatasu (**obr. 2.1**).



**Obr. 2.1**  $\text{TiO}_2$  (0,8%) /PES



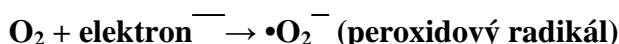
**Obr. 2.2** Produkt UV ozářený  $\text{TiO}_2$

Na **obr. 2.2** je zobrazen produkt UV ozářený  $\text{TiO}_2$

a) Reaktivní radikály

**UV  $\lambda=200\sim800\text{ nm}$   $600\sim150\text{ kJ/mol}$  = vznik páru elektron-díra**

chemická reakce s adsorbovanými molekulami:



radikály - antibakteriální, oxidatiční, destruktivní (rozklad) efekt na většinu organických látek (**rozklad na  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$** )

b) poutání molekul vody (ze vzduchu) k povrchu



povrch kyseliny = extrémně hydrofilní, voda spláchne nečistoty [3].

## **2.4 CHARAKTERISTIKA ZDROJŮ ZÁŘENÍ POUŽÍVANÝCH VE FOTOKATALÝZE**

Pro excitaci elektronu z valenčního do vodivostního pásu polovodičového fotokatalyzátoru (generace díry ve valenčním pásu) je nutné záření o energii stejné, nebo vyšší, než je energie zakázaného pásu (rozdíl energetických hladin vodivostního a valenčního pásu). Pro nejčastěji používaný fotokatalyzátor oxid titaničitý v krystalové formě anatas, jehož energie zakázaného pásu je 3,2 eV je tedy nutné záření o vlnové délce menší než 387 nm.

Pro testování fotokatalyzátorů určených pro viditelnou oblast je naopak nutné používat záření, které neobsahuje ultrafialovou část spektra. Výběr správného typu zdroje

Antibakteriální vlastnosti textilií s fotoaktivním  $\text{TiO}_2$

(intenzita a rozsah vlnových délek) záření se jeví jako zásadní parametr, který určuje výsledné rychlosti fotokatalytických dějů na povrchu fotokatalyzátorů [4]. Schéma přechodových pásů je zobrazeno na **obr. 2.3**.



**Obr. 2.3** Přechodové pásy [5]

#### 2.4.1 Světlo

Světlo je velmi důležité pro náš život. Bez něho by neexistoval svět. Nedocházelo by k reakci mezi zelenými rostlinami a světlem, k fotosyntéze, bez které bychom nemohli dýchat a nikdo z říše mikroorganismů, přes rostliny, živočichy, až po člověka, by nemohl žít. Přírodním zdrojem je slunce, které ohřívá vše živé. Naše oči mají mechanismus citlivý na světlo.

Při dopadu světla na povrch látky je část energie pohlcena atomy povrchu a dojde k jeho zahřátí. Při chemické reakci fotokatalýzy je právě tato energie využita.

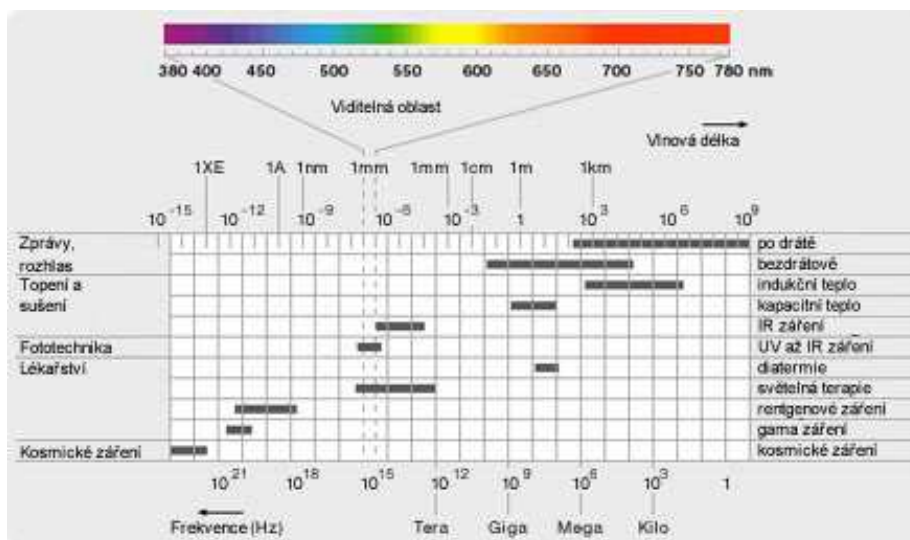
Při fotokatalytických procesech se používá na místo viditelného záření ultrafialové, jehož frekvence energie je vyšší a vlnová délka je kratší než 400nm. V malém množství je UV záření obsaženo ve slunečním spektru. Účinně lze využít záření za pomoci látek s fotokatalytickými vlastnostmi, které má např. oxid titaničitý [6].

#### 2.4.2 Elektromagnetické záření

Elektromagnetické záření je z fyzikálního hlediska formou energie. *Spektrum* záření poskytuje informace o jeho energetické struktuře. Celé spektrum *elektromagnetického záření* (viz **obr. 2.4**) sahá od rentgenového záření ve vysokoenergetickém, krátkovlnném rozsahu až po rádiové vlny v rozsahu nízkoenergetickém, dlouhovlnném [7].

Viditelné světlo představuje pouze malou část elektromagnetického záření, která v lidském *oku* vyvolává světelný a barevný vjem [7].



Typy elektromagnetického záření**Obr. 2.4** Typy elektromagnetického záření

**Viditelné záření** (= VIS) o vlnových délkách 400 - 800 nm je světlo, na které je citlivé lidské oko. Viditelné světlo a blízké infračervené záření je absorbováno a emitováno elektrony v atomech a molekulách, když přecházejí mezi energetickými hladinami.

Tato část elektromagnetického spektra se také označuje jako *světelné spektrum* (viz **tab. 2.1**). Jednotlivé barvy, vyskytující se ve světelném spektru se nazývají *spektrálními barvami* a odpovídají jim určité intervaly vlnových délek elektromagnetického záření [8].

**Tab. 2.1** Přehled vlnových délek a frekvencí světelného spektra

| Barva    | Vlnová délka    | Frekvence        |
|----------|-----------------|------------------|
| červená  | ~ 625 až 740 nm | ~ 480 až 405 THz |
| oranžová | ~ 590 až 625 nm | ~ 510 až 480 THz |
| žlutá    | ~ 565 až 590 nm | ~ 530 až 510 THz |
| zelená   | ~ 520 až 565 nm | ~ 580 až 530 THz |
| azurová  | ~ 500 až 520 nm | ~ 600 až 580 THz |
| modrá    | ~ 430 až 500 nm | ~ 700 až 600 THz |
| fialová  | ~ 380 až 430 nm | ~ 790 až 700 THz |

**Ultrafialové záření** je elektromagnetické záření vlnových délek 400 – 100 nm a frekvenci  $10^{15}$  -  $10^{17}$  Hz [8]. Fotony tohoto záření mají vysokou energii a mohou proto štěpit chemické vazby. UV záření má vlnovou délku kratší než má viditelné světlo, avšak delší než má rentgenové záření. Pro člověka je neviditelné, existují však živočichové (ptáci,

plazi, některý hmyz), kteří jej dokáží vnímat [9]. Nejvíce je zastoupeno ve slunečním světle, z umělých UV zdrojů pak v opalovacích lůžkách [10].

Rozkládá organické molekuly, poškozuje tkáň (rakovina kůže, vady očí). (Používá se k ničení mikroorganismů a částečně je pohlcováno ozonoférou Země [11].

UV záření je rozděleno do třech skupin:

**UVA** s vlnovou délkou od 315 do 400 nm. (asi 99 % UV záření, které dopadne na zemský povrch);

**UVB** s vlnovou délkou od 285 do 315 nm;

**UVC** s vlnovou délkou od 100 do 285 nm.

## 2.5 OXID TITANIČITÝ

Oxid titaničitý je chemická sloučenina kyslíku a titanu, který má funkční i sumární vzorec  $\text{TiO}_2$ . Pod jinými názvy je znám jako titan dioxide nebo kysličník titanu [12].

Uměle připravený oxid titaničitý označovaný jako *titanová běloba* má široké použití jako *pigment* do nátěrových hmot, *barvivo* v potravinářství a v kosmetice jako *účinná složka* některých opalovacích krémů [13].

Vlastnosti  $\text{TiO}_2$ :

- ❖ molární hmotnost 79,87 g/mol
- ❖ teplota tání 1843°C
- ❖ teplota varu 2972°C
- ❖ hustota 4,23 g/cm<sup>3</sup>
- ❖ nerozpustný ve vodě
- ❖ nerozpustný v nepolárních rozpouštědlech [13].

Formy  $\text{TiO}_2$ :

- ❖ prášky (nanočástice)
- ❖ tenké filmy (nanovrstvy) – technikou SOL-GEL  
– plazmatu [14].

Výhody  $\text{TiO}_2$ :

- ❖ levný
- ❖ netoxický
- ❖ chemicky stálý
- ❖ vysoká fotokatalytická aktivita [14].

Oxid titaničitý je polovodič, je chemicky aktivován světelnou energií. Používá se jako fotokatalyzátor. Rozkládá materiály podle naší volby (např. nečistotu, špínu, páchnoucí chemikálie, dráždicí látky, toxické chemikálie, kouřové zbytky, bakterie aj.). [15].

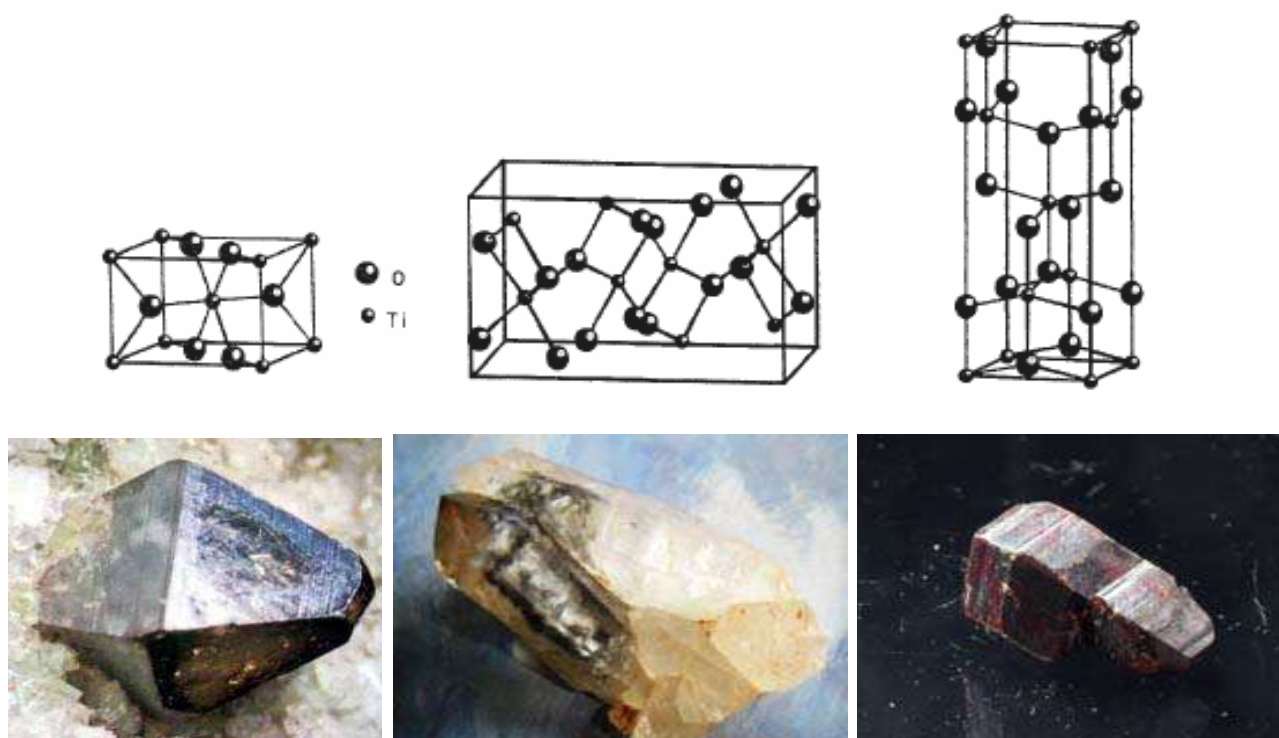
### 2.5.1 Modifikace $\text{TiO}_2$

Přírodní oxid titaničitý se nevyskytuje jako čistý. Většinou bývá kontaminován ionty jiných kovů, například železa. Přírodní minerály oxidu titaničitého jsou průmyslově těženy jako zdroj titanu [13]. Titan je sedmým nejrozšířenějším kovem v zemské kůře (0,63%; po Al, Fe, Ca, Na, K a Mg). V malých množstvích je přítomen téměř ve všech typech nerostů, jeho běžnými minerály jsou *rutil*  $\text{TiO}_2$  a *ilmenit*  $\text{FeTiO}_3$ .

V přírodě se vyskytuje ve třech polymorfních modifikacích (**obr. 2.5**), z nichž nejstabilnější je *rutil* (*tetragonální* = *čtverečný*), zahříváním přechází *brookit* (*orthorhombický* = *kosočtverečný*) a *anatas* (*tetragonální* = *čtverečný*) [16].

Anatas  $\leftarrow 860^\circ\text{C} \rightarrow$  brookit  $\leftarrow 1040^\circ\text{C} \rightarrow$  rutil.

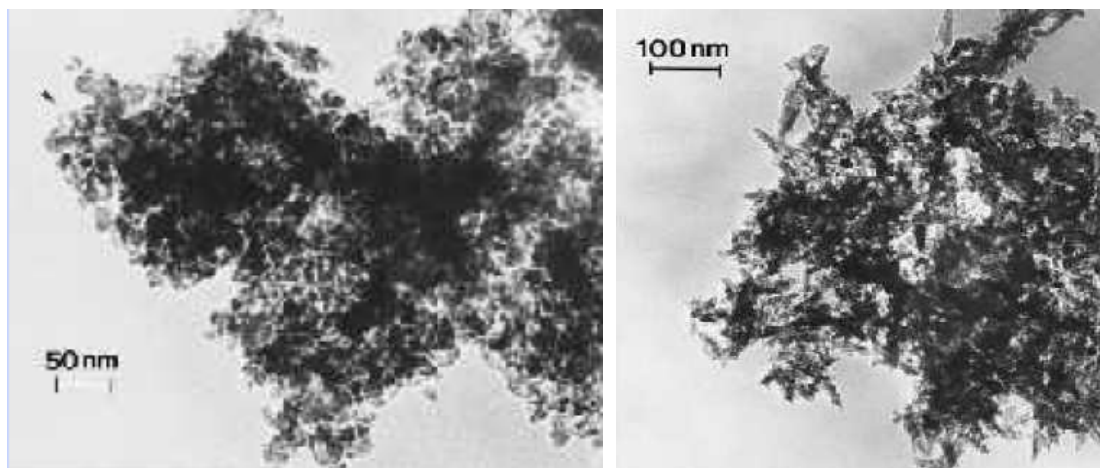
Na **obr. 2.6** jsou viditelně porovnány agregáty  $\text{TiO}_2$ .



**Obr. 2.5** V horní části: Krystalické struktury oxidu titaničitého: a)anatas, b)brookit, c)rutil a v dolní části: Zástupci minerálů: a)anatas, b)brookit, c)rutil [17, 18]

Tab. 2.2 Vlastnosti anatasu a rutilu [14]

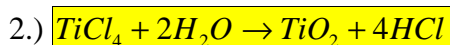
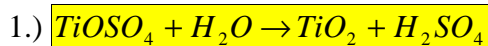
| TiO <sub>2</sub> | Index lomu | Hustota [g/cm <sup>3</sup> ] | agregáty [μm] |        | Průměrná velikost elementárních krystalických částic [nm] |
|------------------|------------|------------------------------|---------------|--------|---|
|                  |            |                              | velikost      | průměr |   |
| Anatas           | 2,49       | 3,84                         | 1 – 2         | 1,5    | 20  |
| Rutil            | 2,903      | 4,26                         | 0,2 – 1,5     | 1      | 5 - 15  |

Obr. 2.6 Agregáty TiO<sub>2</sub>: a) Anatasu a b) Rutilu [14]

### 2.5.2 Výroba TiO<sub>2</sub>

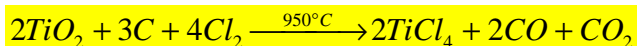
Uplatňuje se při výrobě barev, ve sklářském a keramickém průmyslu, přidává se do kvalitního papíru a plastických hmot. Vzhledem k tomu, že je titanová běloba chemicky stabilní a zdravotně nezávadná, používá se i v potravinářském průmyslu, přidává se do žvýkaček, omáček, sýrů (*potravinářské barvivo E171*) a zubních past [19].

Rutil a anatas se používají jako stabilní nerozpustné bílé pigmenty, které se připravují hydrolýzou 1.) oxid-síranu nebo 2.) chloridu titaničitého.



#### Chlorid titaničitý (TiCl<sub>4</sub>)

- je bezbarvá, na vzduchu dýmající těkavá kapalina, která se připravuje zahříváním rutilu s uhlíkem v proudu chloru.



➤ je meziproduktem při výrobě titanu i mnoha jeho průmyslově důležitých sloučenin, jako např. titanová běloba, chlorid titaničitý [16].

Ročně je celosvětově vyrobeno přibližně 4 miliony tun  $\text{TiO}_2$  [13].

### 2.5.3 Použití $\text{TiO}_2$

V praxi je nejpoužívanější prášková forma oxidu titaničitého – *titanová běloba* (rutil, anatas nebo jejich směs). Tento jemný bílý prášek patří mezi nejkvalitnější dostupné bílé pigmenty [20].

Z důvodu výrazného jasů a velmi vysokého indexu lomu ( $n = 2,7$ ) je používán jako *pigment*. Výhodou jeho použití jako pigmentu jsou i jeho UV rezistentní vlastnosti. Pohlcuje UV záření a přeměňuje ho na teplo. Jeho vysoká odrazivost, jas a barevná stálost ho předurčují také jako vhodný materiál pro použití ve formě tenkých povlaků na speciální optice jako jsou dielektrická zrcadla [13].

Využíván je také jako *matovací prostředek v textilních vláknech*, kde mírně snižuje odolnost vůči UV záření [14].

$\text{TiO}_2$  v práškové formě výrazně rozptyluje světlo a má vysokou opacitu. Je proto používán jako pigment zajišťující bělost a neprůhlednost barev, povlaků, plastů, papíru, inkoustů, potravin, kosmetiky a léčiv (např. tablet, či zubních past). Další jeho vlastnost v práškové formě, která se využívá, je vysoká hydrofobie (odpuzování vody) [13].

Používá se tedy i při výrobě *autoskel a skel pro sluneční brýle*, s účelem eliminovat orosení, které by na nich mohlo vznikat. Téměř všechny jiné alternativy s podobnými vlastnostmi jsou s negativními zdravotními účinky nebo přímo toxické,  $\text{TiO}_2$  ovšem ne.

Díky svému vysokému indexu lomu, opacitě, UV rezistenci a stálosti je často používanou *přísadou opalovacích krémů*. Oproti opalovacím krémům založených na chemických absorbátorech, téměř nevyvolává podráždění a alergické reakce kůže [13].

Jako další použití  $\text{TiO}_2$  je v *lambech sondách v motorech automobilů*. V medicíně umožňuje srůst kostí s implantáty, jako jsou *umělé klouby a zuby* [13].

#### 2.5.4 Fotoaktivní oxid titaničitý

K získání vysoké fotoaktivity částice  $\text{TiO}_2$  musí být co nejmenší a povrch co největší [15]. Fotokatalýza je pouze povrchový proces [14].

Vhodně upravený oxid titaničitý působí v přítomnosti UV záření jako fotokatalyzátor. Pokud je  $\text{TiO}_2$  nadopován atomy dusíku, funguje jako katalyzátor již v přítomnosti viditelného záření. Díky svému vysokému *redoxnímu potenciálu* oxiduje v excitovaném stavu *vodu* za vzniku *hydroxylových radikálů*. Je také schopen přímé oxidace organických látek.

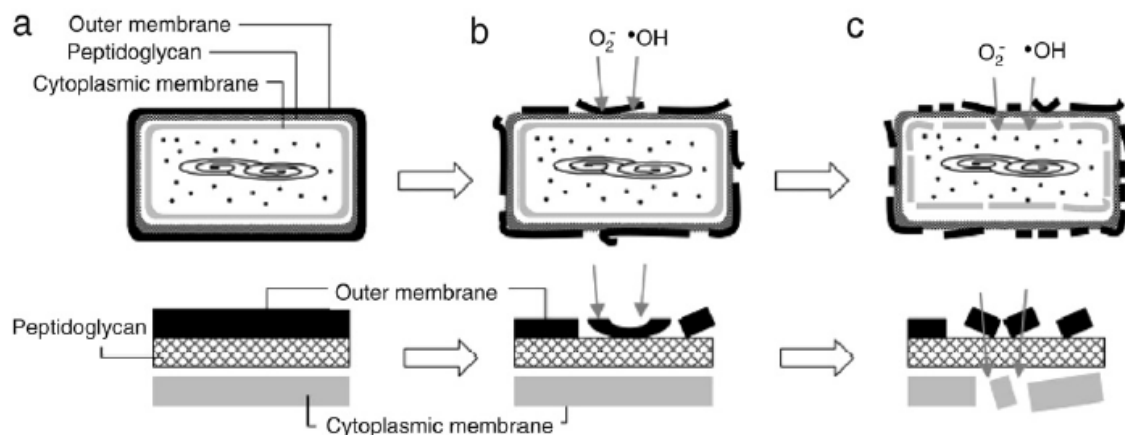
Je také používán v některých *solárních článcích*. Nanokrystalický oxid titaničitý je označován jako nadějný materiál pro výrobu elektrické energie.

Jeho fotokatalytické vlastnosti ho předurčují jako materiál schopný *čistit vzduch od zápachu a škodlivin*, jako jsou *těkavé organické látky* a *oxidy dusíku*. V Česku se využitím oxidu titaničitého zabývá mimo jiné například fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT [13].

Během fotokatalytické reakce vrstva  $\text{TiO}_2$  absorbuje UV záření a dochází k vygenerování párů „elektron – díra“, které reagují s přítomným  $\text{O}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  za vzniku hydroxylových radikálů ( $\cdot\text{OH}$ ) a superoxidových anionů ( $\cdot\text{O}_2^-$ ). Tyto látky způsobí rozklad organických látek a mikroorganismů. Z toho důvodu je  $\text{TiO}_2$  přidáván do nátěrů, cementu, okenních skel, glazur dlaždiček a jiných materiálů, které mají samočisticí a dezinfekční schopnosti [21].

### 2.5.5 Fotokatalytická sterilizace

Na **obr. 2.7** je znázorněn proces působení  $\text{TiO}_2$  na buněčnou stěnu bakterie *Escherichia coli*.



**Obr. 2.7** Proces působení  $\text{TiO}_2$  na buněčnou stěnu bakterie *Escherichia coli*

Kikuchi se svým týmem prokázali účinnost působení fotokatalyzátoru  $\text{TiO}_2$ . Studovali zabíjení *E. Coli* na tenkých vrstvách  $\text{TiO}_2$ . Působením  $\text{TiO}_2$  pod UV zářením byly zabity všechny živé buňky po dobu 4h, zatímco při působení s UV zářením byla úmrtnost živých buněk za 4h pouze 50% [22].

## 2.6 MIKROORGANISMY

Mikroorganismy jsou všechny jednobuněčné i více buněčné biologické objekty, které nejsou schopné tvořit funkčně diferencované tkáně nebo pletiva. Společným znakem je jejich velmi malý rozměr a rychlá adaptace na nejrůznější živiny [23].

Skupinu prokaryotních mikroorganismů, které nemají diferencované jádro, tvoří bakterie a sinice. Jaderná hmota (nukleoid) je volně uložena v plazmě, není obklopena jaderným obalem [24].

Název pochází z řeckých slov **pro** = před a **karyon** = jádro. Velikost prokaryotních buněk odpovídá asi velikosti mitochondrií buněk vyšších organismů (0,5 – 3  $\mu\text{m}$ ).

Prokaryotní organismy (prokaryota) byly prvními živými systémy vzniklými během biologického vývoje. Vyznačují se všudypřítomným rozšířením, rychlým růstem, krátkým časem plození, úžasnou biochemickou mnohostranností a genetickou flexibilitou. Jsou tedy velmi užitečným experimentálním materiálem. Nacházejí též velmi rozsáhlé průmyslové uplatnění [25].

Eukaryotní mikroorganismy jsou většinou větší. Najdeme u nich diferencované buněčné jádro i organely. Řadíme mezi ně řasy, houby, prvoky a slizovky.

Předmětem studia mikrobiologie jsou nižší houby, které se v průmyslové mikrobiologii rozděluje na kvasinky a plísňe [23].

### 2.6.1 Rozdělení mikroorganismů

Mikroorganismy se liší svými nároky na výživu, na kyslík i způsobem získávání potřebné energie [24].

Podle nároků na **výživu** rozděluje mikroorganismy na:

- a) autotrofní, kterým k výživě stačí pouze anorganické sloučeniny;
- b) heterotrofní, které vyžadují přítomnost organických sloučenin v živném prostředí.

V této diplomové práci se zaměřím především na skupinu bakterií a kvasinek.



#### 2.6.1.1 *Bakterie*

##### **Historie a výzkum**

Bakterie jsou jednobuněčné prokaryotické organismy. Mívají kulovitý či tyčinkovitý tvar a zpravidla dosahují velikosti v řádu několika mikrometrů. Jméno bacterium zavedl až Christian Gottfried Ehrenberg v roce 1838. V roce 1859 Louis Pasteur dokázal, že kvašení způsobují bakterie, a že tyto bakterie nevznikají spontánně z neživé hmoty [26].

U bakterií se nevyskytuje pohlavní rozmnožování, kromě toho se nejčastěji dělí binárně (příčné dělení). Bakterie jsou nejrozšířenější skupinou organismů na světě. Dříve se druhy bakterií klasifikovaly podle vnějšího vzhledu, dnes jsou moderní zejména genetické metody. K systematickému rozlišování se používá jejich tvarová rozličnost, uspořádání struktur, barvitelnost, pohyblivost, biochemické vlastnosti [27].

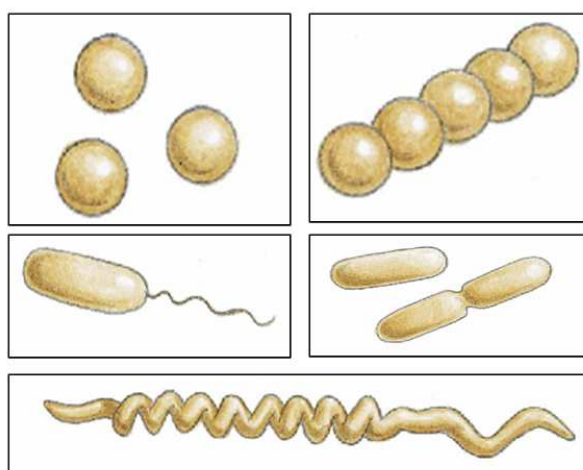
##### **Rozšíření a význam**

Bakterie mají velký význam v planetárním oběhu živin a mnohdy vstupují do oboustranně prospěšných svazků s jinými organismy. Mnohé patří mezi komenzálické druhy, které žijí např. v lidské trávicí soustavě. Na druhou stranu je známo i mnoho patogenních bakterií, tedy druhů, které způsobují infekce. I člověk mnohé z bakterií využívá, např. v potravinářském a chemickém průmyslu. Vědci využívají bakterie ve výzkumu. Bakterie jsou nejrozšířenější skupinou organismů na světě. Celkově se odhaduje, že na Zemi žije asi  $5 \times 10^{30}$  (jedinců) bakterií. Bakterie je možné nalézt v půdě, vodě, ovzduší [26].

### **Tvar a velikost**

Bakterie mají velkou rozmanitost tvaru a velikosti (viz **obr. 2.8**). Velikost bakterií je velice rozmanitá, obvykle se ale pohybuje mezi desetinami a desítkami mikrometrů. Například *E. Coli* dosahuje délky 2–3  $\mu\text{m}$  a šířky 0,6  $\mu\text{m}$ . Je však známo mnoho v toto směru extrémních bakterií. V současnosti je největší známá bakterie *Thiomargarita namibiensis* (0,75 mm). Naopak nejmenší jsou bakterie rodu *Mycoplasma* s průměrem buňky jen asi 0,1–0,3  $\mu\text{m}$ . Nemají buněčnou stěnu, a proto byly dříve považovány za viry. Ještě mnohem menší jsou však kontroverzní nálezy, označované jako nanobakterie, které dosahují velikosti jen 50 - 200 nm (0,05 – 0,2  $\mu\text{m}$ ), podle nejnovějších výzkumů se však nejedná o živé organismy, ale o krystaly uhličitanu vápenatého v krevním séru [27].

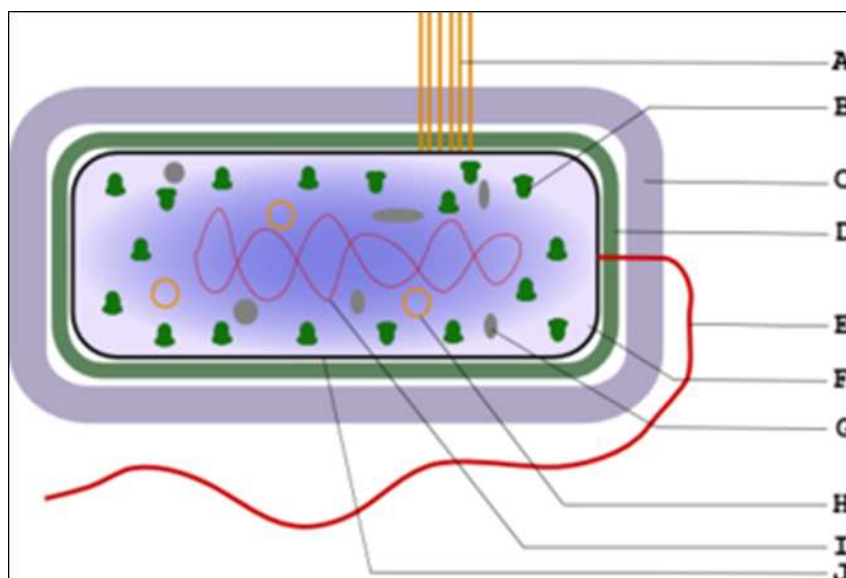
- **kulovitý** (koky) — pokud vytvářejí kolonie, dělí se dále na diplokoky (kolonie tvořené dvěma buňkami), tetradoky (čtyři buňky v kolonii), streptokoky (řetízkovité kolonie), stafylokoky (hroznovité kolonie) a sarciny (balíčkovité kolonie);
- **tyčinkovitý** (tyčinky čili bacily) — tyto se mohou sdružovat v koloniích po dvou (diplobacilus) či v řetízcích (streptobacilus), popřípadně tvoří palisády;
- **zakřivený** — takto tvarované bakterie nevytvářejí kolonie a patří mezi ně vibria (krátké lehce zakřivené tyčinky), spirily (lehce zvlněné tyčinky) či spirochéty (tyčinky šroubovitého tvaru) [27].
- **větvící se bakteriální buňky** - vytvářejí buďto náznaky větvení nebo větvení úplné.



**Obr. 2.8** Základní tvary bakterií

### **Stavba buňky**

Bakterie obsahuje buňku prokaryontní [25]. Přestože jsou značné rozdíly mezi stavbou buněk různých skupin bakterií, existují určité společné rysy. Známe mnohé struktury na povrchu buněk (membrána, buněčná stěna, pilusy, bičíky), ale i vnitrobuněčné struktury (protoplastu). Schéma buňky bakterie je zobrazeno na **obr. 2.9** [26].

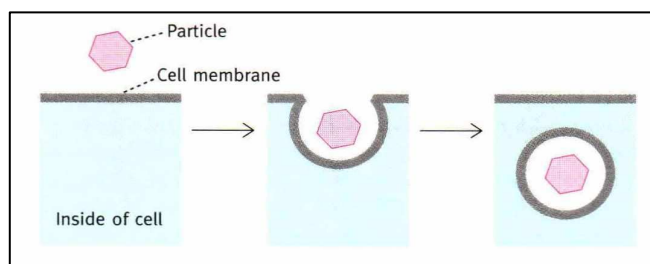


**Obr. 2.9** Schéma bakteriální buňky: A - pilus, B - ribozom, C - kapsula, D – buněčná stěna, E - bičík, F - cytoplazma, G - vakuola, H - plasmid, I - nukleoid, J - cytoplazmatická membrána

Na povrchu bakteriálních buněk je **cytoplazmatická membrána** podobná membráně eukaryot, ale s tím rozdílem, že většinou neobsahuje žádné steroidy. Důležitou funkcí membrány je tvorba ATP [26]. Cytoplazmatická membrána je tvořena dvojvrstvou fosfolipidů, v níž jsou připoutány molekuly transportních bílkovin nebo jsou v ní vnořeny pomocí elektrostatických a hydrofobních sil. Složení mastných kyselin ve fosfolipidech závisí na kultivační teplotě. Při nízké teplotě fosfolipidy obsahují více nenasycených mastných kyselin [27]. Bakteriální buňky mají cytoplazmatickou membránu až pod těsně přiléhající buněčnou stěnou [28].

Mechanismy transportu látek jsou závislé na struktuře a složení membrán a na povaze látek, které jsou přes membránu přenášeny [29]. Na **obr. 2.10** je zobrazen proces endocytózy.

Endocytóza je aktivní proces, který umožňuje buňce řízeně přijímat z okolí velké množství látek [30].

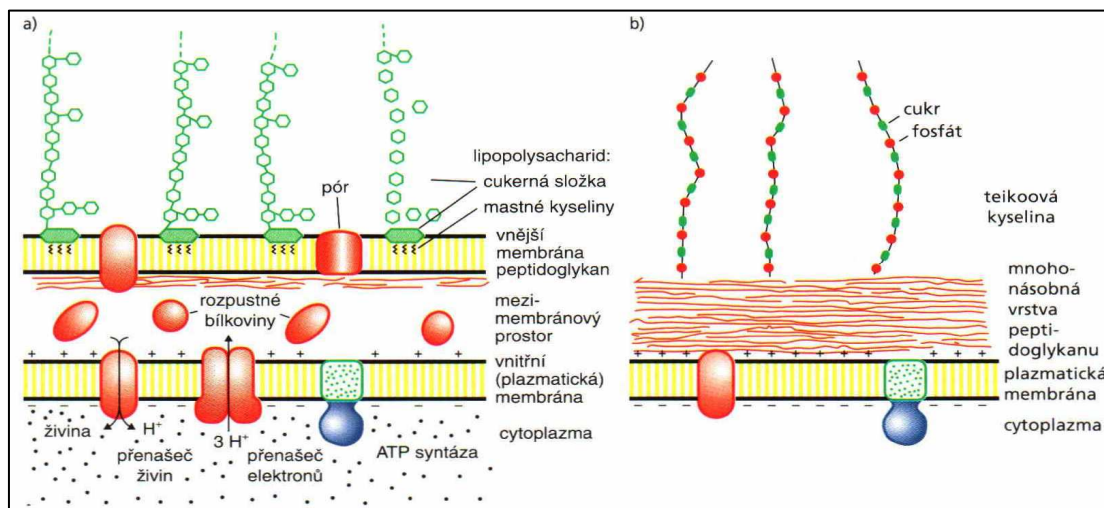


Obr. 2.10 Endocytóza

Většina bakterií má na povrchu buňky **buněčnou stěnu** z peptidoglykanu. Buněčná stěna bakterií je však velmi proměnlivá a je mimo jiné důležitým znakem při rozlišování bakterií na grampozitivní a gramnegativní [31]. Po fixaci bakterií teplem se nejdříve obarví trifenylnmethanovým barvivem (krystalová violet) a následně roztokem jodu (Lugolem). Následně se vzorek ponoří do rozpouštědla (aceton nebo ethanol). Pokud se barvivo z buněčné stěny po ponoření do rozpouštědla nevymylo a ta zůstala obarvená modře, jedná se o bakterie grampozitivní. Při opačném výsledku, kdy došlo k odbarvení buněčné stěny, se jedná o gramnegativní bakterie. Ty se pak ještě pro rozlišení dodatečně barví například safraninem na růžovo [32]. Na **obr. 2.11** je zobrazen povrch buňky gramnegativní (**a**) a grampozitivní (**b**) bakterie [31]. Buněčná stěna bakterii mechanicky chrání [27].

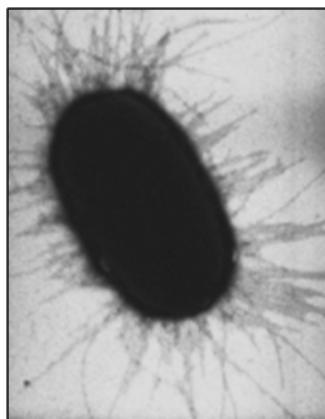
Jedná se o jedinou rigidní strukturu bakteriální buňky, která celou buňku obaluje jako síť a drží ji pohromadě. Uvnitř gramnegativních bakterií je osmotický tlak kolem 500 kPa (5 atmosfér), uvnitř grampozitivních bakterií pak až 2500 kPa (25 atmosfér), který musí stěna držet. Stěna je mechanicky velmi odolná, při desintegraci (laboratorním rozbíjení) se mus používát poměrně drastické fyzikální a chemické metody [33].

Vyjma plošných útvarů, které kryjí buňku, se vyskytuje na povrchu ještě řada jiných struktur, jako jsou například **bičíky** a **pilusy** (viz **obr. 2.12**). Bičíky mají některé bakterie jako svůj lokomoční orgán, přičemž bakterie může mít i více bičíků. Bičík bývá delší než vlastní bakterie [31].



**Obr. 2.11** Povrch buňky (a) gramnegativní bakterie a (b) grampozitivní bakterie

Uvnitř bakteriální buňky se nachází protoplast, tedy množství různých struktur a organel rozptýlených v **cytosolu**. V cytoplazmě jsou pouze tři druhy struktur: **chromozom**, **ribosomy** a **granule zásobních látek**. Chemicky se jedná o koloidní roztok globulárních bílkovin, dále ribonukleové kyseliny, nukleotidy, aminokyseliny a další biologicky aktivní látky [27]. Jádro zaujímá asi 15 % objemu bakterie, ale pouze 3 % sušiny. Není od cytoplazmy odděleno membránou, a proto nemá stálý tvar [24].

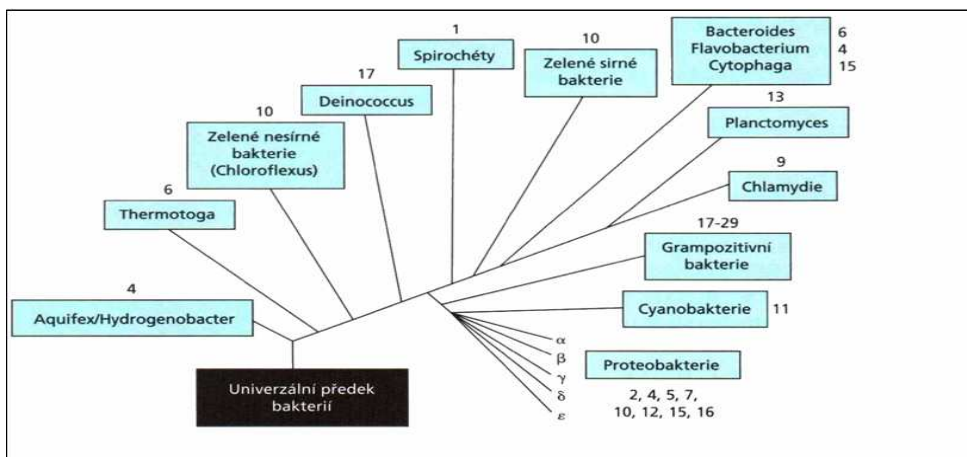


**Obr. 2.12** Pilusy

## Systematika

Tento vědní obor se zabývá pojmenováváním bakteriálních taxonů (druhů) a jejich seskupováním podle příbuznosti [31].

Na základě výsledků analýzy sekvencí 16S rRNA bakterií byl zkonstruován fylogenetický strom, v němž se rozlišuje 12 hlavních linií (**obr. 2.13**).



**Obr. 2.13** Fylogenetický strom bakterií

## Využití v průmyslu

V dnešní době existuje velké množství druhů, které se využívají v průmyslu. Jako *Lactobacillus*, se (společně např. s kvasinkami a plísněmi) používají k přípravě fermentovaných (kvašených) potravin, jako je sýr, sójová omáčka, víno nebo jogurt. Jogurt a kefír se vyrábí kvašením mléka za přítomnosti bakterií; mléko díky tomuto procesu dostává jiné příchuti. Mléčných bakterií se využívá při průmyslové produkci kyseliny mléčné. Ta totiž vzniká kvašením sacharidů. Fermentací sacharidů za přítomnosti másečných bakterií se zase využívá k produkci kyseliny octové a máselné, kvašením vzniklé kyseliny máselné se průmyslově vyrábí butanol a aceton. Dalšími látkami, jež jsou produkovány bakteriemi, jsou xanthan (mazivo, přísada do potravin, při výrobě nátěrových hmot a keramiky) a kurdľany (potenciální uplatnění v potravinářství). V průmyslu se též uplatňují enzymy získané z bakterií. Některé proteázy se přidávají do některých pracích prášků, ke štěpení škrobu se užívá amyláz [26].

### 2.6.1.2 Kvasinky

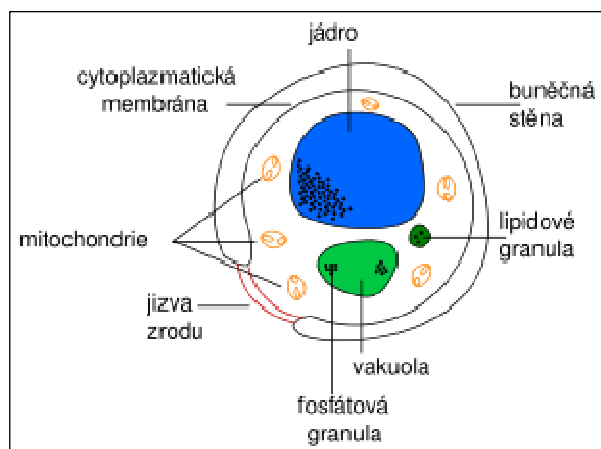
Kvasinky jsou heterotrofní eukaryotní mikroorganismy, náležející mezi houby [24].

Jedná se o jednobuněčné houbové mikroorganismy. Většina kvasinek patří do třídy vřeckovýtrusných hub, některé však i do třídy hub stopkovýtrusných, a proto společně netvoří taxonomickou skupinu. Netvoří plodnice, množí se zejména nepohlavně a je pro ně charakteristický způsob dělení buněk, takzvané pučení [34].

Kvasinky jsou hojně využívány v potravinářství a biotechnologiích. Používají se například při výrobě vína, piva nebo chleba. Využívá se jejich schopnosti kvašení. Jsou ale mezi nimi i původci nemocí (např. *Candida albicans*) [35].

První jednotlivé kvasinky poprvé pozoroval Anton van Leeuwenhoek, pomocí primitivního mikroskopu. Theodor Schwann roku 1837 popřel účast kyslíku při kvasném procesu a popsal v kvasící tekutině se rozmnožující kvasinky (odtud rodové označení *Saccharomyces*).

Schéma buňky kvasinky je zobrazeno na **obr. 2.14**.



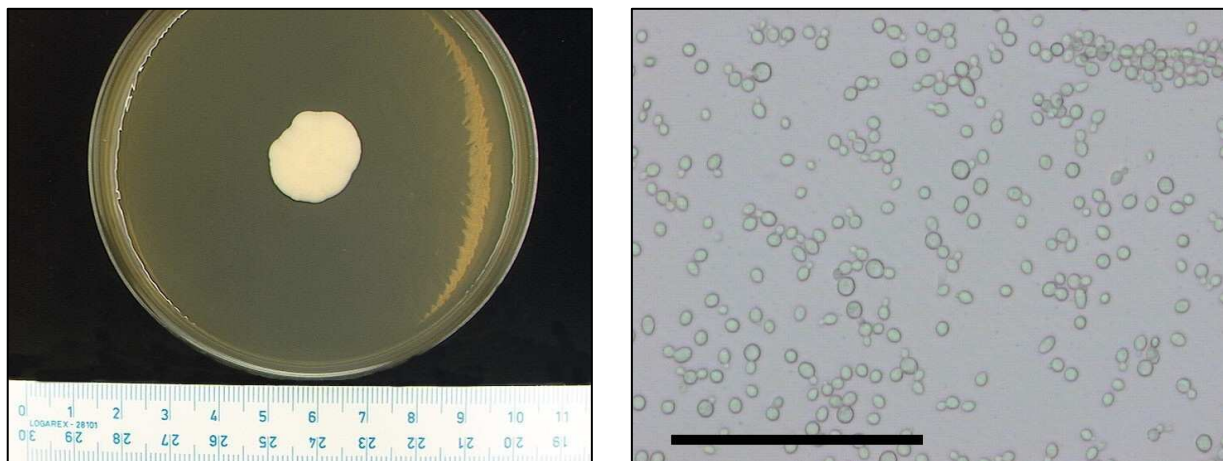
**Obr. 2.14** Schéma buňky kvasinky

U kvasinek jsou morfologické rozdíly podstatně málo výrazné než např. u hub vláknitých. Základem pro identifikaci je klíč založený na utilizaci sady určitých substrátů doplněný o mikromorfologii na rýžovém agaru [36].

Obvykle jsou kvasinky kulaté nebo oválné, ale vyskytují se i druhy, které mají buňky charakteristického citronovitého, vajíčkovitého nebo lahvovitého tvaru [24].



Je známo asi 700 druhů kvasinek [37]. Na **obr. 2.15 vlevo** jsou vyobrazeny kolonie na sladinném agaru po 3 týdnech při 25°C (tzv. obrovská kolonie). Na **obr. 2.15 vpravo** je vyobrazen nativní preparát, úsečka na fotografii znázorňuje délku 100 µm [38]. Jedná se o modelový organismus, který je použit v experimentech.



**Obr. 2.15** *Saccharomyces cerevisiae* DBM 2101

### **Stavba buňky**

**Cytoplazmatická membrána** tvoří elastický obal protoplastu, osmotickou bariéru a kontroluje přesun látek. Je tvořena především z fosfolipidů a bílkovin [24].

Jádro je u eukaryotních organismů zřetelně ohraničeno jadernou membránou a tvoří ho chromatin. Na rozdíl od většiny eukaryotických buněk mají kvasinky tzv. endomitózu, takže dělení jádra probíhá bez porušení jaderné membrány.

**Mitochondrie** jsou organely specializované na respiraci a oxidativní fosforylaci s vlastním genetickým systémem a proteosyntézou.

Kvasinková buňka zpravidla obsahuje jednu velkou kulatou **vakuolu**. Přibližně 80 - 90 % rozpustných aminokyselin z celkového objemu volných aminokyselin v kvasinkách je obsaženo právě ve vakuolách [34].

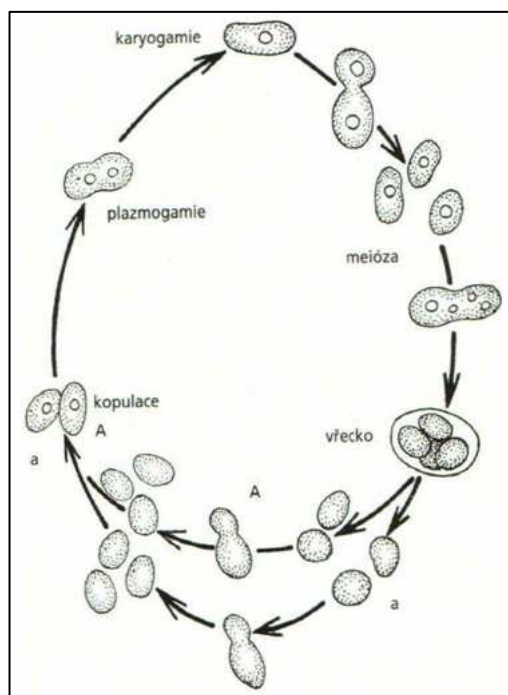
**Cytosol** je tekutá frakce cytoplazmy po separaci buněčných organel v rozmezí 6,2 - 6,4 pH. Na jeho koloidním charakteru se podílejí rozpuštěné bílkoviny, glykogen a jiné makromolekulární látky.

Jako stálé struktury na buněčné stěně vznikají **jizvy** po pučení dceřiných buněk a jejich separaci od mateřské buňky, popř. po dělení kvasinkových buněk. Přetrvávají po celý vývoj jednotlivé buňky.



V **endoplazmatickém retikulu** (dále ER) jsou syntetizovány peptidy a bílkoviny. Na vnějším povrchu ER (tzv. drsné ER) jsou zakotveny ribozomy, pohybují se ale i volně v cytoplazmě.

Na **obr. 2.16** je zachycen životní cyklus kvasinek. Podrobně je tento cyklus znám především u *Saccharomyces cerevisiae* (Kvasinka pивní) a u *Schizosaccharomyces pombe* [31].



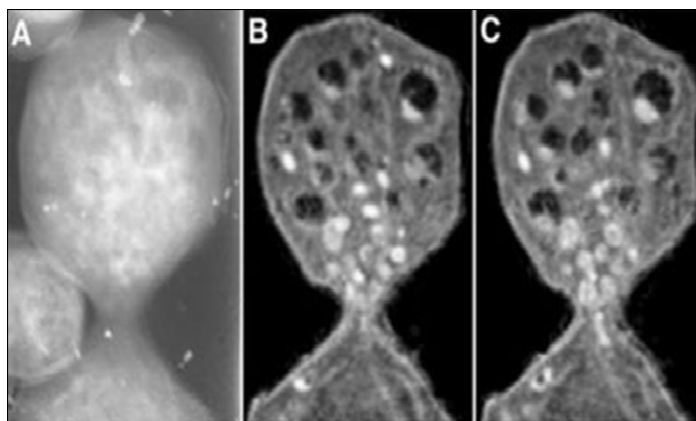
**Obr. 2.16** Životní cyklus *Saccharomyces cerevisiae*

### Rozmnožování kvasinek

Kvasinky se mohou rozmnožovat nepohlavně a to většinou pučením, kromě několika málo druhů (tzv. pohlavních kvasinek), nebo pohlavně za vzniku pohlavních spor [31].

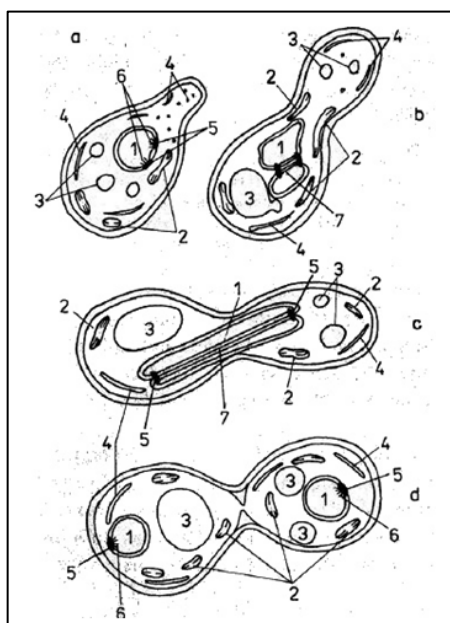
#### a) Vegetativní rozmnožování

Během pučení se na mateřské buňce vytvoří pupen, který se postupně zvětšuje. Podle místa, kde pupen na povrchu kvasinky vzniká, se rozlišuje pučení monopolární, bipolární a multipolární, případně mohou pupeny vznikat i zcela náhodně. Na **obr. 2.17** je vyobrazena pučící kvasinka *Saccharomyces cerevisiae* [34].



**Obr. 2.17** Pučící kvasinka *Saccharomyces cerevisiae*

Schéma pučení kvasinek je zobrazeno na **obr. 2.18**. Popis legendy: 1 – jádro, 2 – mitochondrie, 3 – vakuola, 4 – ER, 5 – pólové tělísko vřeténka, 6 – mikrotubuly, 7 – vřeténko [37].



**Obr. 2.18** Schéma pučení kvasinek

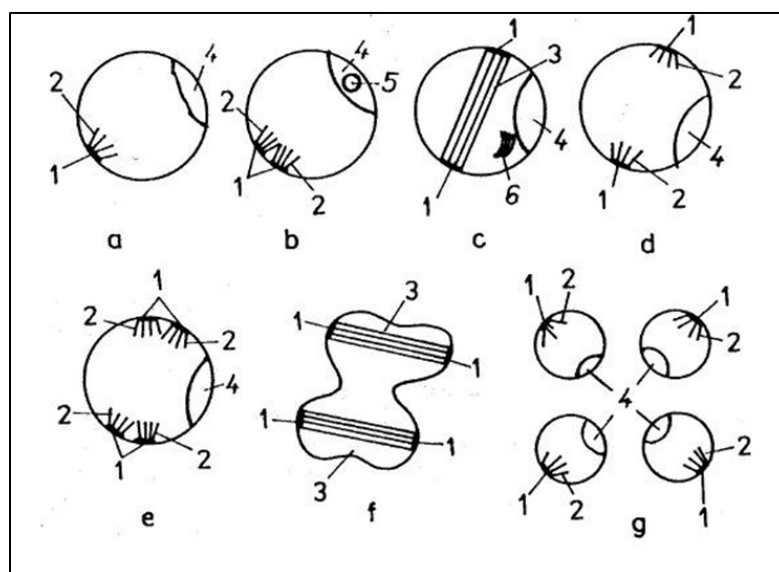
#### b) Pohlavní rozmnožování

U většiny kvasinek lze kromě nepohlavního rozmnožování pozorovat i rozmnožování pohlavní, při kterém vznikají spory. Často kvasinky, které jsou schopné sexuálního rozmnožování sporulují při nedostatečném přísunu živin [24].

Na **obr. 2.19** je uvedeno schéma pohlavního rozmnožování u kvasinky druhu *Saccharomyces cerevisiae*, jsou zde naznačeny jednotlivé fáze meiózy. V **tab. 2.3** jsou popsány jednotlivé buněčné organely.

**Tab. 2.3** Pohlavní rozmnožování kvasinek

| č. | organela              | písmeno | organely v průběhu meiózy                          |
|----|-----------------------|---------|--|
| 1  | pólové tělísko        | a       | diploidní jádro                                    |
| 2  | mikrotubuly           | b       | rozdělení pólového tělíska                         |
| 3  | vřeténko              | c       | vytvoření vřeténka                                 |
| 4  | jadérka               | d       | rozdělení vřeténka                                 |
| 5  | kulovité těleso       | e       | rozdělení obou pólových tělísek                    |
| 6  | polykomplexní tělísko | f       | vytvoření dvou vřetének                            |
|    |                       | g       | rozdělení vřetének a vytvoření 4 haploidních jader |



**Obr. 2.19** Pohlavní rozmnožování kvasinek

## 2.7 FERMENTACE

Fermentace je přeměna organických látek, především sacharidů, na látky jednodušší, přičemž se uvolňuje energie. Velmi často se jedná o modifikaci nebo prodloužení glykolýzy. Původně se mezi fermentaci zařazovaly pouze anaerobní procesy (pravé kvašení), později se rozšířily také o procesy aerobní, tzv. nepravé kvašení [39].

Klíčovým cukrem přeměny sacharidů je glukosa. Anaerob dovede štěpit glukosu pouze kvašením (fermentace). Tento proces se zdá být na první pohled velmi rozdílný u různých organismů, protože se při něm tvoří rozličné produkty, např. ethanol, butanol, aceton, laktát, propionát atd. Tato zdánlivá odlišnost je způsobena pouze posledními produkty celého procesu, jehož hlavní cesta je i u značně rozdílných organismů stejná. Obecný typ tohoto anaerobního odbourání glukosy je tvorba laktátu. Jedná se o obecnou glykolýzu (Embden-Meyerhofova cesta štěpení glukosy) [40]. Schéma fermentace vycházející z glykolýzy je zobrazeno na **obr. 2.20**.

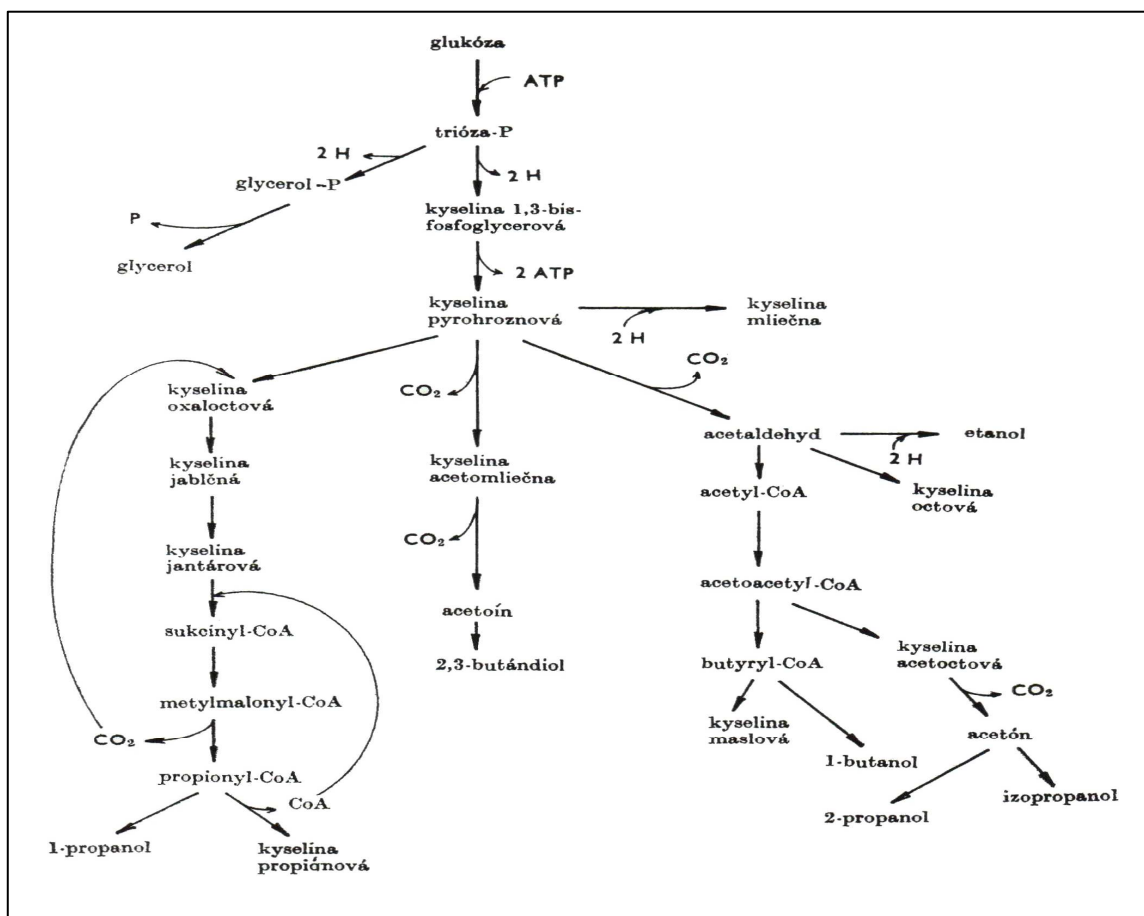
V cukrech je ukryto značné množství chemické energie, kterou tak organismy uskladňují. Štěpení molekul cukru na menší molekuly s menší hladinou chemické energie ji buňky opět uvolní. Takovéto štěpení cukru se nazývá glykolýza. Existuje několik forem glykolýzy. Nejdéle známou je rozklad cukru na  $\text{CO}_2$  a ethanol čili dekarboxylační glykolýza (alkoholové kvašení). Historie kvašení je pro biochemii velmi významná, protože jde současně o vývoj názorů na chemii buňky. Jinou formou glykolýzy je nepolymerační, zvaná též obecná nebo svalová (mléčné kvašení) [41].

Fermentace je **energeticky velmi nevýhodná**, protože výchozí substrát není plně redukován a energie v něm není zcela využita. Zatímco při respiraci se úplnou oxidací glukosy na  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  vytvoří 38 molekul ATP, poskytuje analogická fermentace glukosy na mléčnou kyselinu jen asi 2 molekuly ATP [33].

### **Hlavní charakteristika fermentace je:**

- způsob získávání energie jen u chemoorganotrofních bakterií;
- zkvašovaný organický substrát vstupuje do oxidačně redukčních reakcí;
- aktivace fosforylací za účasti ATP + enzymů;
- přenos  $\text{H}^+$  dehydrogenázami;
- anaerobní dehydrogenací – přeměna substrátu na jednoduché látky;
- přeměna po metabolických drahách;

- hlavním meziproduktem kyselina pyrohroznová (pyruvát);
- vznik malého kvanta energie [42].



Obr. 2.20 Schéma fermentace vycházející z glykolýzy

## 1. Alkoholové kvašení

Konečným produktem tohoto kvašení je etanol [24]. Například kvasinky za anaerobních podmínek nejprve odštěpují oxid uhličitý z pyruvátu, tak vznikne acetaldehyd a ten je teprve redukován NADH [42]. Schéma mléčné a alkoholové fermentace je zobrazeno na obr. 2.21.

Původci: *Saccharomyces*  
*Morula* /kvasinky/  
*Sarcina ventriculi*

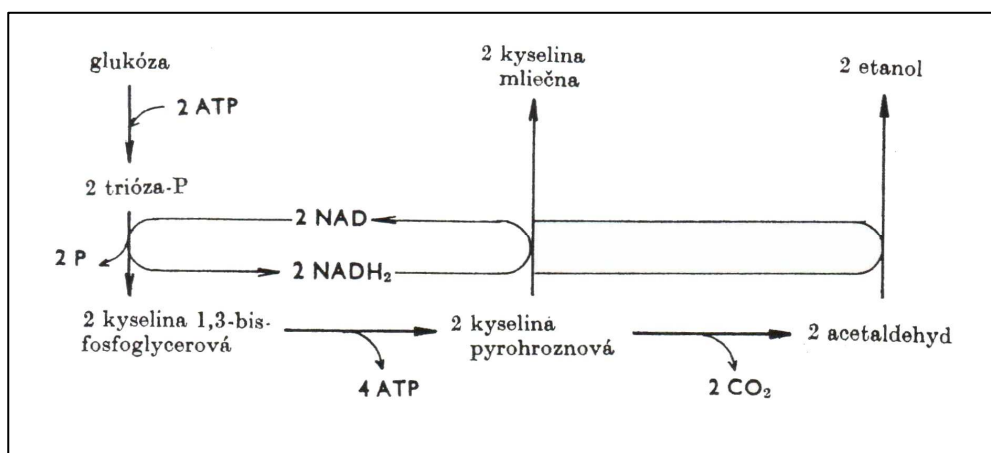
Produkt: etanol

Sumární rovnice:  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 CH_3CH_2OH + 2 CO_2$  (-235 KJ. mol<sup>-1</sup> glukózy)

Metabolická dráha: EMP = Embden-Meyerhof-Parnasova = glykolýza

Energetický výtěžek: 2 ATP/1mol

Význam: alkoholické výrobky, kynuté pečivo [43].



Obr. 2.21 Schéma mléčné a alkoholové fermentace

## 2. Mléčné kvašení

Konečným produktem je zde kyselina mléčná. U některých druhů mléčného kvašení mohou vznikat vedle kyseliny mléčné ještě další sloučeniny, jako např. kyselina octová, ethanol nebo vodík [24]. Reakce zajišťuje reoxidaci redukovaných koenzymů, oxidované koenzymy jsou potřebné pro reakce glykolýzy. Při mléčném kvašení připadají na jednu molekulu glukózy pouze dvě molekuly ATP [42].

### ❖ homofermentativní

Původci: *Lactobacillus bulgaricus*

*L. CASE*

*Streptococcus lactis*

Produkt: kyselina mléčná

Sumární rovnice:  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 CH_3-CHOH-COOH$  (-196 KJ. mol<sup>-1</sup> glukózy)

Metabolická dráha: EMP = Embden-Meyerhof-Parnasova

Energetický výtěžek: 2 ATP

### ❖ heterofermentativní

Původci: *Lactobacillus brevis*

*Leuconostoc*

Produkt: kyselina mléčná + kyselina octová + ethanol + H<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub>

Metabolická dráha: fosfoketolázová

Energetický výtěžek: 1 ATP

Význam: kyselina mléčná (hromadění ve svalech při hypoxii), zubní kaz, výroba kyselého zelí, mléčných výrobků [43].

### **3. Propionové kvašení**

Konečným produktem je kyselina propionová a vedle ní případně i jiné látky (kyselina mléčná, jablečná, octová) [24].

### **4. Máselné kvašení**

Konečným produktem je kyselina máselná a octová. Při tomto kvašení může vznikat i butanol a aceton a poté se jedná o kvašení butanolové, resp. acetonové [24].

## **2.8 ANTIBAKTERIÁLNÍ ÚPRAVY**

Obecně můžeme říci, že antibakteriální úprava (s ní úprava hygienická) je užší specifikum antimikrobiální úpravy.

**Antibakteriální úprava** se zabývá úpravou účinnou proti bakteriím. Může působit smrtícím účinkem, nebo baktericidně, anebo brzdícím účinkem (což je bakteriostaticky). Oproti tomu **antimikrobiální úprava** zahrnuje všeobecný pojem pro úpravy, které mají smrtící anebo brzdící účinek na mikroorganismy, jako jsou bakterie, plísně, houby, kvasinky, aktinomycety apod. [44].

Princip úprav spočívá v aplikaci prostředků, které usmrcují nebo zamezují růstu bakterií a plísní. Rozvíjejí se ve dvou směrech:

- *fungicidní resp. baktericidní úpravy;*
- *hygienické úpravy* [45].

### **2.8.1 Baktericidní úprava**

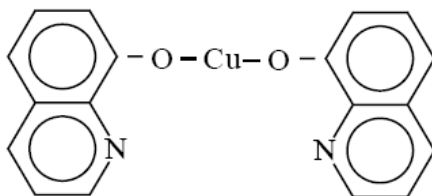
Baktericidní, resp. fungicidní úprava chrání textilie před poškozením a destrukcí plísněmi a bakteriemi. Je určena především pro technické tkaniny. Zvláště snadno jsou napadány všechny textilie upravené škrobem. Kvalitní fungicidní úpravu lze provést jedním z následujících postupů:

- povrstvení textilie hmotou bránící přístupu mikroorganismů, např. hydrofobizací (pasivní úprava);
- inaktivace celulózového nebo proteinového vlákna k mikroorganismům chemickou přeměnou (pasivní úprava);
- impregnace tkaniny pro plísně a bakterie jedovatými látkami (aktivní úprava) [45].

### Prostředky pro baktericidní úpravu

#### 1) Sloučeniny mědi a dalších kovů

Nejvýznamnější z této skupiny jsou nerozpustné měďnaté soli vyšších alifatických karboxylových kyselin [44], především 8 - oxychinolínát měďnatý (**obr. 2.22**).



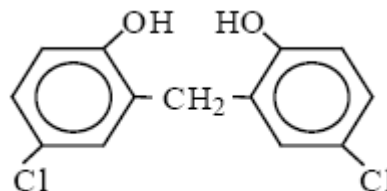
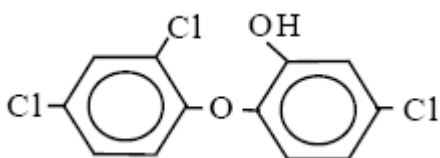
**Obr. 2.22** 8 - oxychinolát měďnatý

Nevýhodou je modrozelený odstín, snadná vypratelnost a všeobecná jedovatost, i když tento prostředek má léčivý účinek na kožní plísně [45].

#### 2) Deriváty fenolů

Z nejznámějších a nejúčinnějších produktů je to:

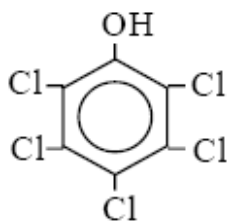
2,4,4'-trichlor-2'-hydroxydifenylether (**obr. 2.23**), 2,2'-dihydroxy-5,5'-dichlorfenylmethan (**obr. 2.24**) a pentachlorfenol (**obr. 2.25**) [45].



**Obr. 2.23** 2, 4,4'-trichlor-2'-hydroxydifenylether

**Obr. 2.24** 2,2'-dihydroxy-5,5'-dichlorodiphenylmethan





**Obr. 2.25** Pentachlorfenol

### **Technologický postup**

Přípravky na bázi chlorovaných derivátů fenolů jsou anionaktivní, rozpustné v alkáliích, nerozpustné ve vodě. Proto se aplikují z alkalického roztoku impregnací pokud možno v teplé lázni dvou nebo tří lážňovým způsobem. Po této impregnaci se textilie zpracovává bez mezisušení v lázni 5 %  $\text{CH}_3\text{COOH}$  nebo roztoku  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Po tomto okyselení se zboží odmáčkne, krátce máchá a suší [45].

### **Metodika hodnocení fungicidních úprav**

Podstatou zkoušky je stanovení poklesu pevnosti vzorku ze zkušební upravené tkaniny po uložení v půdě, která je zdrojem mikroorganismů. Standardní zkušební půda se připraví smísením stejných dílů písku, uleželé koňské mrvy a lesní listovky.

Ze zkoušené tkaniny se připraví zkušební vzorky (20 ks o rozměrech 25 x 4 cm) Vzorky se vypárají na šířku 2,5 cm, následuje 48 hod. praní v tekoucí vodě. Po praní se vzorky usuší při 60 °C a rozdělí na dvě poloviny. U první se stanoví po 24 hod. klimatizace průměrná pevnost, druhá polovina se zahrabe do zkušební půdy. Po 14-ti dnech se na očištěných a klimatizovaných vzorcích měří pokles pevnosti a výpočtem se stanoví tzv. fungicidní číslo:

$$\text{FČ} = \frac{\text{průměrná pevnost exponovaných vzorků}}{\text{průměrná pevnost srovnávacích vzorků}} \times 100$$

Čím je FČ větší, tím je úprava kvalitnější a lépe odolává mikrobiologické korozi [44].

### **2.8.2 Hygienická úprava**

Z širšího hlediska lze tyto úpravy chápat nejen jako úpravy bakteriostatické a deodorační, ale rovněž jako úpravy zvyšující komfort nošení, prodyšnost, hydrofibizaci atd.

Pod užším pojmem hygienická úprava rozumíme úpravu proti růstu a působení bakterií a plísní a dále úpravu potlačující i bakteriální rozklad potu a jiných organických látek ulpívajících na vláknech během praktického používání [44].

#### **Prostředky pro hygienickou úpravu**

Velmi účinné prostředky jsou vyráběny na bázi kvartérních amoniových sloučenin např. alkyldimethylbenzylamonium halogenidů. Pokožka je relativně dobře snáší, prakticky nevyvolávají alergii. Jsou rozpustné ve vodě, a proto se snadno aplikují v poslední práci lázni, stálost úpravy v praní je horší.

#### **Technologická aplikace**

Tento typ klasického přípravku je jako všechny kationaktivní přípravky substantivní k textilním materiálům. Je ho možno aplikovat buď vytahovacím postupem z dlouhé lázně nebo klocováním na fuláru. Před aplikací je nutné zabezpečit odstranění zbytků z předchozích úprav, především prostředků kationaktivních, silikátů, fosfátů a dalších více valenčních iontů, které snižují účinnost úpravy. Používá se koncentrace 10 - 30 g.l<sup>-1</sup> při teplotě 30 - 50 °C a poté se tkanina suší [45].

#### **Hodnocení hygienických úprav**

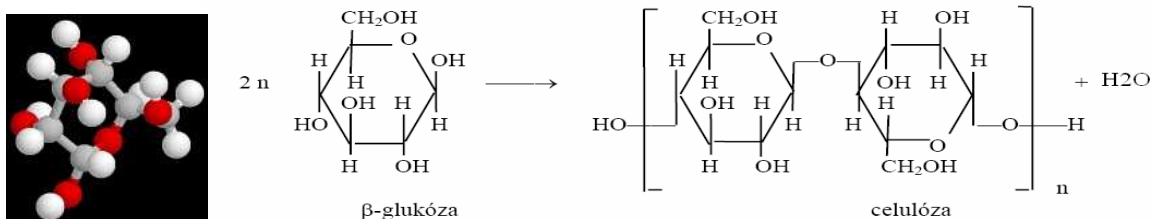
K hodnocení úprav je nejpoužívanější metoda založená na pozorování zastavení nebo snížení růstu zkušebních mikroorganismů naočkovaných na živnou půdu v Petriho miskách po vložení koleček testované, upravené tkaniny [45].

### 3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

#### 3.1 CHARAKTERISTIKA POUŽITÉHO MATERIÁLU

V této části byla použita doprovodná bavlněná tkanina podle normy ČSN 80 0101.

##### 3.1.1 Normovaná bavlněná tkanina



3D glukóza

**Obr. 3.1** Vlevo: 3D model glukózy a vpravo: Základní strukturální jednotka celulózových vláken  
[46, 47]

Celulóza je přírodní makromolekulární sloučeninou, která je základním stavebním prvkem bavlněných vláken.

Bavlna je nejdůležitější ze všech plodin pěstovaných pro výrobu textilního vlákna. Vláknina se získávají z plodu keře bavlníku (zralá vlákna v tobolce).

Bavlněná vlákna jsou přítomna ve více než 50 % dnes vyráběných textilií. Kultivace bavlny měla výrazný ekonomický dopad již od doby, kdy byla bavlna poprvé domestikována před přibližně 5000 (podle některých pramenů i 10 000) lety.

V Evropě byla bavlna známá až od středověku. V době průmyslové revoluce se však bavlna stala díky svým fyzikálním vlastnostem velmi důležitou pro textilní průmysl a koncem 19. století představovala přibližně 80 % objemu všech textilních materiálů. V dnešní době si bavlna sice uchovává svoje postavení jako nejvýznamnější zdroj přírodního vlákna, ale její význam byl do značné míry snížen syntetickými vlákny. Na dnešní produkci textilií se bavlna podílí přibližně 40 %.

Bavlna má dobrou pevnost v tahu (245–373 mN/tex) a v oděru, která se za mokra dokonce asi o 20 % zvyšuje. Proto se používá s výhodou zejména na výrobky, které jsou v tom směru namáhány a musí se často prát.

Výrobky mají příjemný omak a mohou sát značné množství vlhkosti, na příklad potu. Jeden z hlavních důvodů vysoké spotřeby bavlny ve světě je velmi výhodný poměr celkových užitných vlastností k ceně produktů. K nevýhodám patří, že se výrobky z bavlny snadno mačkají, žmolkují a jen omezeně chrání proti chladu.

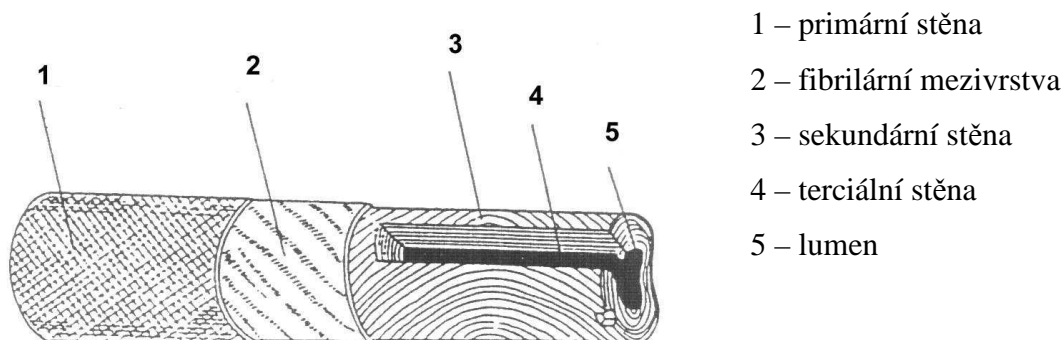
Pro výrobce příze je z jakostních ukazatelů nejdůležitější délka neboli stapl vláken a stejnoměrnost staplu. U většiny druhů bavlny platí, že delší vlákna jsou jemnější a i relativně pevnější. Z těch se pak nechají vyřadit jemnější, hodnotnější příze.

Pro volbu správné bavlny se musí také brát v úvahu:

- způsob výroby příze (prstencové, rotorové, mykané, česané, čistá bavlna nebo směs s umělými vlákny);
- další zpracování příze - skaní, barvení, bělení, tkaní, pletení [48].

Zralá bavlněná vlákna mají tvar zkroucené stužky a jejich průřez je ledvinkovitého tvaru.

Bavlněné vlákno je vytvářeno z několika vrstev [47]:



**Obr. 3.2** Model bavlněného vlákna

**Primární stěna (kutikula)** – je pokožkou, která tvoří tenký, ale pevný povrch vláken. Obsahuje především lecitin, bílkoviny, vosky a pektin. Tloušťka kutikuly je asi 0,1  $\mu\text{m}$ .

**Sekundární stěna** – je tvořena soustavou prstenců lamel. Sekundární stěna zaujímá až 95% objemu vlákna a dosahuje tloušťky 4 $\mu\text{m}$ .

**Terciální stěna** – je tenká asi 0,1 $\mu\text{m}$  a z větší části je tvořena necelulózovými látkami. Tato část vlákna je vnitřní pokožkou ohraničující lumen [47].

Chemické složení bavlny se liší v závislosti na druhu bavlny, klimatických podmínkách a zralosti vláken.

**Průměrné chemické složení bavlny je:**

- 86 – 96 % celulózy,
- 2,8 % bílkovin,
- 0,4 – 1,2 % pektinů,
- 0,4 – 0,8 % tuků a vosků,
- 1 – 1,8 % popelovin,
- 6 – 8,5 % hygroskopické vlhkosti,
- stopy pigmentů [47].

Přítomnost alkoholických skupin výrazně ovlivňuje fyzikální, fyzikálně-chemické i chemické vlastnosti celulózy. Mezi alkoholickými skupinami celulózy vznikají vodíkové můstky. Tyto vazby mohou nastávat nejen intramolekulárně, ale také intermolekulárně. Řetězce se tak dostávají do pevnějšího kontaktu a vzájemně na sebe energeticky působí. Celulóza je tedy málo reaktivní, což je dáno jejím chemickým složením a strukturou [49].

Bavlna je pórovitá (30–35%), což úzce souvisí s výbornými sorpčními a smáčecími vlastnostmi. Jemnost vláken se pohybuje mezi 1 – 4 dtex. Bavlněný materiál má díky vysoké přítomnosti -OH skupin širokou paletu použitelných barviv. Patří sem především barviva přímá, reaktivní, sirná a kypová [50].

## 3.2 CHEMIKÁLIE POUŽITÉ PŘI EXPERIMENTU

### 3.2.1 Sušené kultury vinných kvasinek - hlubokoprovášejší

obsah: granulované kultury vinných kvasinek hlubokoprovášejších

výrobce: FRUTANA spol. s r.o., Fügnerova 306, 388 01 Blatná

hmotnost: 0,6g (1 sáček)



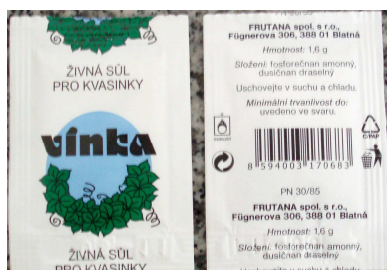
Obr. 3.3 Sušené kultury vinných kvasinek

### 3.2.2 Živná sůl

složení: fosforečnan amonný, dusičnan draselný

výrobce: FRUTANA spol. s r.o., Fügnerova 306, 388 01 Blatná

hmotnost: 1,6g (1 sáček)



Obr. 3.4 Živná sůl

### 3.2.3 Sacharóza

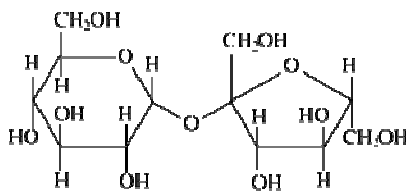
složení: disacharid (jedna molekula glukózy a jedna molekula fruktózy)

systematický název:  $\alpha$ -D-glukopyranosyl- $\beta$ -D-fruktofuranosid

sumární vzorec:  $C_{12}H_{22}O_{11}$

vlastnosti: bílá krystalická látka sladké chuti, rozpustná ve vodě, nejběžnější sladidlo

jiné označení: řepný cukr [51].



Obr. 3.5 Sacharóza

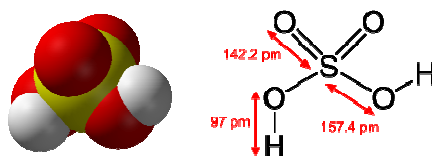
### 3.2.4 Kyselina sírová o koncentraci 20g/l

vlastnosti: silná dvojsytná kyselina; bezbarvá, viskózní kapalina bez zápachu;  
 $\rho = 1,84 \text{ g.cm}^{-3}$ , žíravé účinky [52]

sumární vzorec:  $\text{H}_2\text{SO}_4$

jiné označení: vitriol, olej vitriolu

výrobce: Lachema a.s., Neratovice



Obr. 3.6 Kyselina sírová

### 3.2.5 AEROXIDE $\text{TiO}_2$ P-25

složení: ze směsi anatasu a rutilu a minimální množství amorfního  $\text{TiO}_2$

vlastnosti: P 25 je prášek  $\text{TiO}_2$ , který obsahuje anatas a rutil v přibližném poměru 3:1. Částice anatasu i rutilu tvoří samostatné aglomeráty. Velikost částic se pohybuje okolo hodnot 85 nm (anatas) a 25 nm (rutil). Soudí se, že částice anatasu s velkým aktivním povrchem jsou účinné při rozkladu nečistot ve vzduchu a vodě. Právě velký aktivní povrch je důležitý, protože koncentrace nečistot bývá obvykle nízká. Na druhou stranu, pro štěpení vody, což je důležitý proces pro přeměnu světelné energie na chemickou, je účinný malý aktivní povrch částic rutilu. P 25 má poměrně velký aktivní povrch, přibližně  $49 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ .

výroba: ze surové rudy obsahující nejméně 90 %  $\text{TiO}_2$ , která je redukována uhlíkem při  $950^\circ\text{C}$  a následně oxidována chlorem na kapalný chlorid titaničitý  $\text{TiCl}_4$ . Ten je přečištěn destilací a při teplotě vyšší jak  $1200^\circ\text{C}$  za přídavku

kyslíku a vodíku je zpět přeměněn na  $\text{TiO}_2$ . Pro odstranění  $\text{HCl}$ , který vzniká při reakci jako vedlejší produkt, se používá přečištění parou.

Výsledný produkt obsahuje 99,5 %  $\text{TiO}_2$  [53]

výrobce: Degussa Praha s.r.o.



**Obr. 3.7** AEROXIDE  $\text{TiO}_2$  P-25

V **tab. 3.1** je vyjádřeno procentuální hmotnostní zastoupení pro každé chemické složení komerčního  $\text{TiO}_2$  v práškové formě.

**Tab. 3.1** Chemické složení komerčních práškových  $\text{TiO}_2$  [4]

| hm%             | $\text{TiO}_2$ | $\text{Cl}^-$ | $\text{SO}_4^{2-}$ | Fe   | Al   | Si   | $\text{P}_2\text{O}_5$ | Nb   | Na   | K    | Ca   | W    |
|-----------------|----------------|---------------|--------------------|------|------|------|------------------------|------|------|------|------|------|
| <b>P25</b>      | 99,83          | 0,17          |                    |      |      |      |                        |      |      |      |      |      |
| <b>P90</b>      | 99,70          | 0,30          |                    |      |      |      |                        |      |      |      |      |      |
| <b>AV-01</b>    | 99,51          |               | 0,06               |      | 0,17 |      | 0,27                   |      |      |      |      |      |
| <b>S7001</b>    | 96,21          |               | 0,28               |      | 0,03 | 3,08 | 0,40                   |      |      |      |      |      |
| <b>R200</b>     | 99,54          |               | 0,05               |      |      |      | 0,18                   | 0,06 |      | 0,16 |      |      |
| <b>uulp7500</b> | 99,13          |               | 0,64               | 0,10 | 0,03 |      | 0,04                   | 0,02 |      |      | 0,05 |      |
| <b>ulp7000</b>  | 98,54          |               | 1,08               |      |      |      |                        |      | 0,22 |      | 0,16 |      |
| <b>ulp7001</b>  | 98,62          |               | 1,17               | 0,03 | 0,01 |      |                        | 0,02 | 0,12 |      | 0,03 |      |
| <b>PC100</b>    | 98,47          |               | 1,27               |      | 0,00 |      | 0,08                   | 0,13 |      |      |      | 0,04 |
| <b>PC500</b>    | 90,39          |               | 1,80               |      | 0,00 |      | 0,05                   |      |      |      |      | 7,77 |



### 3.3 ZAŘÍZENÍ POUŽITÉ PŘI EXPERIMENTU

#### 3.3.1 Analytická váha

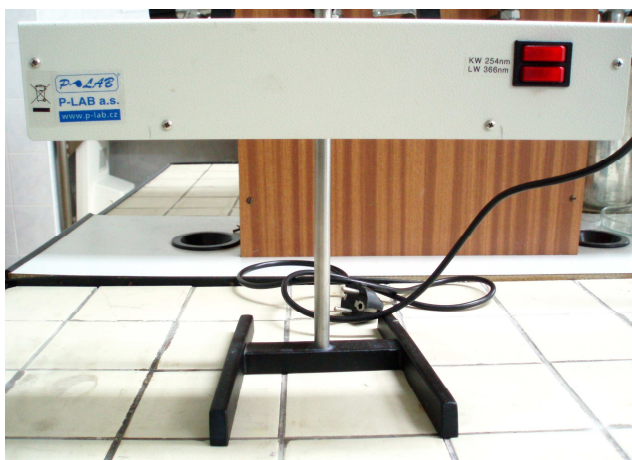
Analytické váha, od firmy OHAUS, typem Adventurum Pro, s přesností odměřením na tisíciny (od minima 0,001g do maxima 510g), byly použité u pokusů, k navážení definovaných množství chemikáliích.



Obr. 3.8 Analytické váhy

#### 3.3.2 UV lampa

Lampa od firmy P-LAB a.s., byla použita jako zdroj UV záření, o dvou vlnových délkách (254nm a 366nm). V diplomové práci bylo použito vlnové záření 366nm.



Obr. 3.9 UV lampa

### 3.3.3 Magnetické míchadlo

Magnetické míchadlo, od firmy LAVAT CHOTUTICE, typem Vitrum, bylo použito k zabránění sedimentaci částic oxidu titaničitého na dno zkoušeného roztoku, během ozařování.



Obr. 3.10 Magnetické míchadlo

### 3.3.4 Ultrazvukový homogenizátor

Ultrazvukový homogenizátor, firmy BANDELIN, typem Sonopuls HD 3200, byl použit k rozdispergování shluků částic  $\text{TiO}_2$ .



Obr. 3.11 Ultrazvukový homogenizátor

### 3.3.5 *Fulár*

Fulár, firmy Mathis, zkonstruovaný ve Švýcarsku, byl použit k definované hmotnosti odmačku, bavlněné tkaniny s nánosem  $\text{TiO}_2$ .



Obr. 3.12 *Fulár*

## 3.4 *USPOŘÁDÁNÍ EXPERIMENTU*

Pro testování antibakteriálního účinku úpravy fotoaktivními nanočásticemi  $\text{TiO}_2$  byly zvoleny různé metody. Na sestavené aparatuře pro fermentaci byl sledován antibakteriální účinek upravené textilie, jako modelové organismy byly použity pouze kvasinky. Bakterie nemohly být použité kvůli zdravotní závadnosti. Na základě zjištění úniku  $\text{CO}_2$  bylo stanoveno kritériem „Relativní Rychlost Tvorby“ oxidu uhličitého (dále „RRT“), kde byl během pokusu zaznamenán objem oxidu uhličitého uvolněného při fermentaci.

Při fotoaktivitě oxidu titaničitého dochází k rozkladu organických látek a materiálů, které s nimi přicházejí do styku. Na aparatuře pro UVA ozařování nanočástic  $\text{TiO}_2$  s modulovými organismy došlo ke snížení rychlosti fermentace, docházelo tedy k degradaci modulových organismů.

### **Definice experimentu**

Při procesu fermentace (kvašení) kvasinky proměňují jednoduché cukry (glukóza, fruktóza) na alkohol (etanol) a oxid uhličitý, který uniká do vzduchu. Principem experimentu je sledovat množství CO<sub>2</sub>, které se uvolní při pokusu a je přímo úměrné aktivitě kvasinek v systému.

Chemický vzorec fermentace:



V mých experimentech se používá sacharóza kvůli cenové i obchodní dostupnosti. Glukóza sice zajišťuje rychlejší průběh fermentace, avšak z výše uvedených důvodů je používána sacharóza. Kromě delší doby fermentace nám sacharóza zajistí srovnatelné výsledky, kterých bychom dosáhli při použití glukózy.

### **Postup experimentu**

Celkový objem testovaného roztoku při pokusu je 50 ml (jde o součet objemů „**zásobního roztoku kvasinek**“ a „**zásobního roztoku živné soli**“). Zmíněné množství 50 ml roztoku bylo promícháno a nalito do zkumavky. Stejným množstvím bylo naplněno i dalších pět zkumavek. Zkumavky byly uzavřeny kvasnou zátkou. Do kvasné zátky byl vyvrtán otvor, do kterého byl umístěn jeden konec hadičky. Do šesti pipet bylo nalito 120 ml kyseliny sírové (do každé pipety 20 ml) o koncentraci 20g/l. Do pipet, naplněných kyselinou sírovou, byly zasunuty konce hadiček. Do kádinky bylo nalito 100 ml kyseliny sírové o koncentraci 20g/l. Je nutné, aby konce pipet s hadičkami byly v kyselině sírové zcela ponořeny. Kyselina sírová se v aparatuře používá z důvodů omezení rozpustnosti CO<sub>2</sub> ve vodě. Kyselé prostředí způsobené H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> zamezí vzniku kyseliny uhličitě, jejíž vznik umožní významný nárůst rozpustnosti CO<sub>2</sub> ve vodě.

Při umísťování pipet s hadičkami do kádinky s H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se musí dbát na to, aby při otáčení došlo k minimálnímu úniku definovaného množství (20 ml) zředěné kyseliny sírové z pipet. Tím se zamezí přístupu kyslíku a může začít proces kvašení.

Po určité době začne kvasící proces. Glukóza se začne přeměňovat na etanol a oxid uhličitý. Oxid uhličitý začne vytlačovat kyselinu sírovou z pipet do kádinky. Pomocí úniku oxidu uhličitého od konců zaslepených pipet se odměřuje v ml (podle stupnice na pipetě) objem CO<sub>2</sub> a doba trvání kvašení.

Celkový postup u standardního orientačního experimentu trvá přibližně 50 min.

**Laboratorní pomůcky sestavené aparatury pro kvasící proces:**

- 3x stojany s upevněním se třemi kruhovými obručemi
- 6x zkumavky vsunuté v černé textilií (nepropouští světlo) o objemu 50 ml
- 6x provrtané kvasné zátky s hadičkami uvnitř
- 6 pipet o objemu 20 ml zaslepené z jedné strany
- 3x kádinky o objemu 300 ml

Aparatura je složena z větší zkumavky, ze které je unikající oxid uhličitý veden hadičkou do pipety se zataveným koncem, která byla použita k měření objemu unikajícího oxidu uhličitého. Z časové náročnosti přípravy experimentů a zjištěním vysoké přesnosti, proto byl jen jednou prováděn slepý pokus ze třech realizací.

**Postup analýzy dat**

Z analýzy průběhu objemu uvolněného oxidu uhličitého na čase bylo pro vyhodnocení experimentu (např. u slepého pokusu) využito pozorování, že po cca **120-ti až 150-ti minutách** od počátku pokusu je rychlost uvolňování produkovaného oxidu uhličitého konstantní. Proto byla data z této oblasti pokusu aproximována přímkovou závislostí a stanovena směrnice této závislosti pomocí lineární regrese v programu MS Excel (např. „ $y = 0,0907x - 6,4354$ “). Při analýze experimentů je současně se směrnici stanoven i koeficient determinace s vysokou přesností (např. „ $R^2 = 0,9953$ “) jako orientační kritérium vhodnosti přímkového modelu.

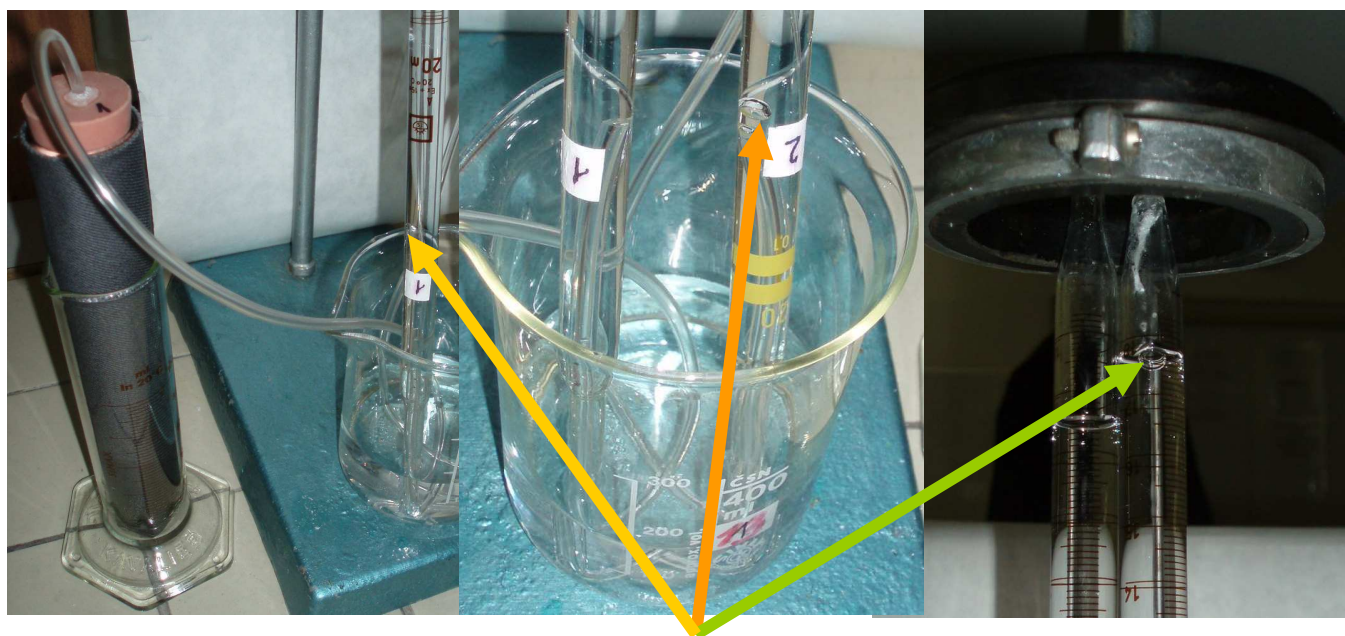
Pro snadné porovnání změn v RRT oxidu uhličitého je definováno jako poměr směrnice (rychlosti tvorby oxidu uhličitého) v případě pokusu s testovaným činidlem vůči směrnici při slepém pokusu – vyjádřeno v procentech.



### 3.4.1 Aparatura pro kvasící proces (fermentaci)



Obr. 3.13 Sestava tří aparatur pro kvasící proces



Obr. 3.14 Detailní rozbor průběhu množství úniku CO<sub>2</sub>

### 3.4.2 Aparatura pro ozařování



Obr. 3. 15 Aparatura pro ozařování

#### Sestavené zařízení aparatury pro ozařování

- magnetické míchadlo
- UV lampa s vlnovou délkou 366nm (typ ozařování UVA)
- laboratorní miska pro smíchání definovaného roztoku pro objem 50 ml

Na pokusy působilo různou dobu ozařování UVA, které probíhalo v laboratorní misce s parametry 15 x 15 cm, s definovaným roztokem nebo s textilií zalitou roztokem (např. 5 ml „suspenze  $\text{TiO}_2$ “ se 45 ml „zásobního roztoku kvasinek“<sup>1</sup>), Laboratorní miska, která byla umístěna na magnetickém míchadle, byla 4 cm vysoká a na ní byl ve středu umístěn UV zářič.

---

<sup>1</sup> pro pokusy s  $\text{TiO}_2$  a UV ozařováním nebo jen pro samostatné ozařování v definovaném čase

### 3.5 METODIKA ZPRACOVÁNÍ EXPERIMENTU

#### 3.5.1 Standardní příprava roztoků

##### Zásobní roztok kvasinek

„Zásobní roztok kvasinek“ obsahoval: **roztok cukru (50g krupicového cukru s 200 ml  $H_2O$ ) a 1 sáček suchých kvasinek „vínka“.**

Celkový objem „zásobního roztoku kvasinek“ je 222 ml. Vše bylo smícháno a uzavřeno v Erlenmayerově baňce. Ponecháno 3 dny stát při optimální teplotě 21 až 24°C (= doba zákvasu 3 dny). Tímto nastalo zakvašení suchých kvasinek vínka. Pro všechny experimenty je používána stejná metoda přípravy „zásobního roztoku kvasinek“.



**Obr. 3.16** Zakvašení suchých kvasinek vínka

##### Roztok Živné soli

„Roztok Živné soli“ obsahoval: **2 sáčky živné soli s 500 ml  $H_2O$ ,**

Vše bylo smícháno a ponecháno v předem určené láhvi. Roztok živné soli je připravený ke stálému použití (odlévání). Pro zrychlení a zkvalitnění dat experimentu se přidává „roztok živné soli“. Pro všechny experimenty je používána stejná příprava „roztoku Živné soli“.



### Suspenze $\text{TiO}_2$

„Suspenze  $\text{TiO}_2$ “ obsahovala: **0,1g  $\text{TiO}_2$  a 50 ml „roztok živné soli“**.

Vše bylo smícháno a těsně před experimentem vloženo do ultrazvukového homogenizátoru na dobu 1 minutu při 50% výkonu na rozbití shluků nanočástic oxidu titaničitého. Pro zabránění k nežádoucí dispergaci velkých shluků nanočástic je ihned „suspenze  $\text{TiO}_2$ “ připravena k použití. Pro experimenty  $\text{TiO}_2$  a s nebo bez UV zářením je používána stejná metoda přípravy „Suspenze  $\text{TiO}_2$ “.



Obr. 3.17 Suspenze  $\text{TiO}_2$

### 3.5.2 *Nános suspenze $\text{TiO}_2$ na normovanou bavlněnou textilii*

#### Předúprava normované bavlněné tkaniny:

*Suspenze  $\text{TiO}_2$  obsahovala: **0,1g  $\text{TiO}_2$  + 100ml  $\text{H}_2\text{O}$  (o konc. 1g/l)***

Na **ultrazvukovém homogenizátoru** po dobu **1 min** byly rozbity shluky nanočástic „**suspenze  $\text{TiO}_2$** “. Normovaná bavlněná tkanina po zvážení v průměru představovala suchý vzorek  **$m_s = 4,211 - 4,431(\text{g})$**

Normovaná bavlněná tkanina byla zalita a naklocována „**suspenzí  $\text{TiO}_2$** “. Po něm následoval odměřek **na fuláru** (= definovaný odměřek)

Normovaná bavlněná tkanina po zvážení v průměru představovala mokrý vzorek  **$m_m = 6589 - 7,935(\text{g})$** .

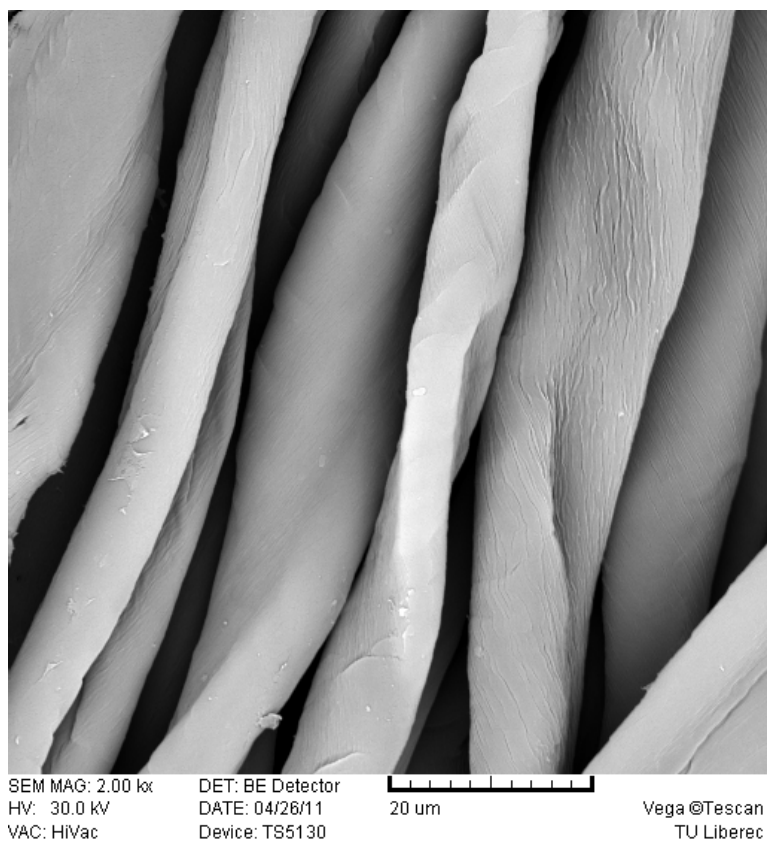
Následovalo stanovení **mokrého přívažku** = vzorky byly naklocované s „suspenzí  $\text{TiO}_2$ “ s průměrným mokrým přívažkem 60%.

Normovaná bavlněná tkanina byla usušena při  $105^\circ\text{C}$  po dobu 30 min do konstantní hmotnosti.

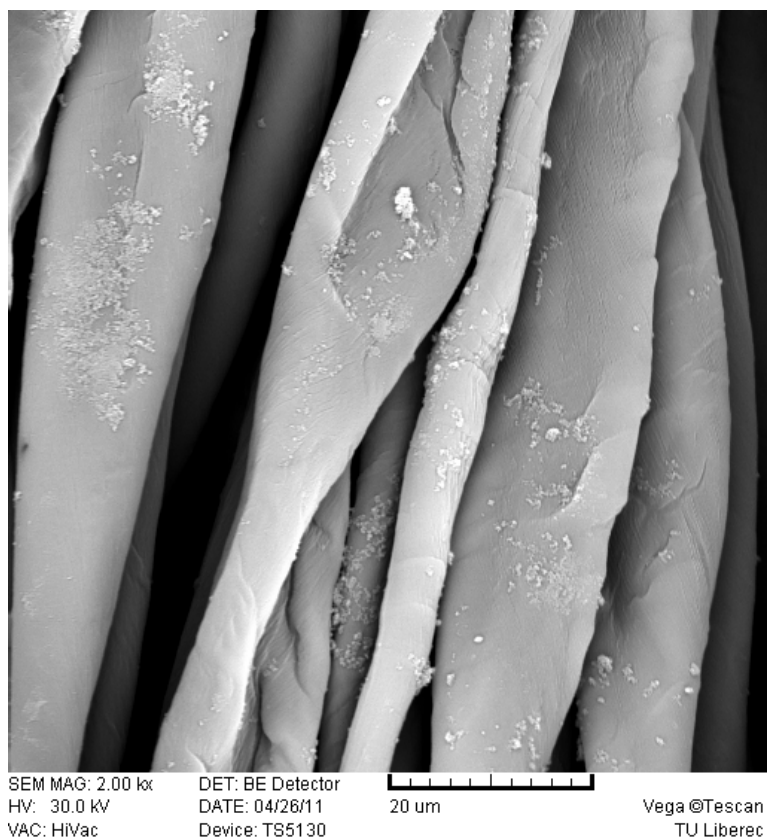
### 3.6 SNÍMKY VZORKŮ Z REM

Pro pozorování změn povrchů materiálů byl použit rastrovací environmentální elektronový mikroskop Aquasem. Pracující v systému Tescan TS 1103, pro akvizici a předzpracování obrazu z rastrovacího elektronového mikroskopu.

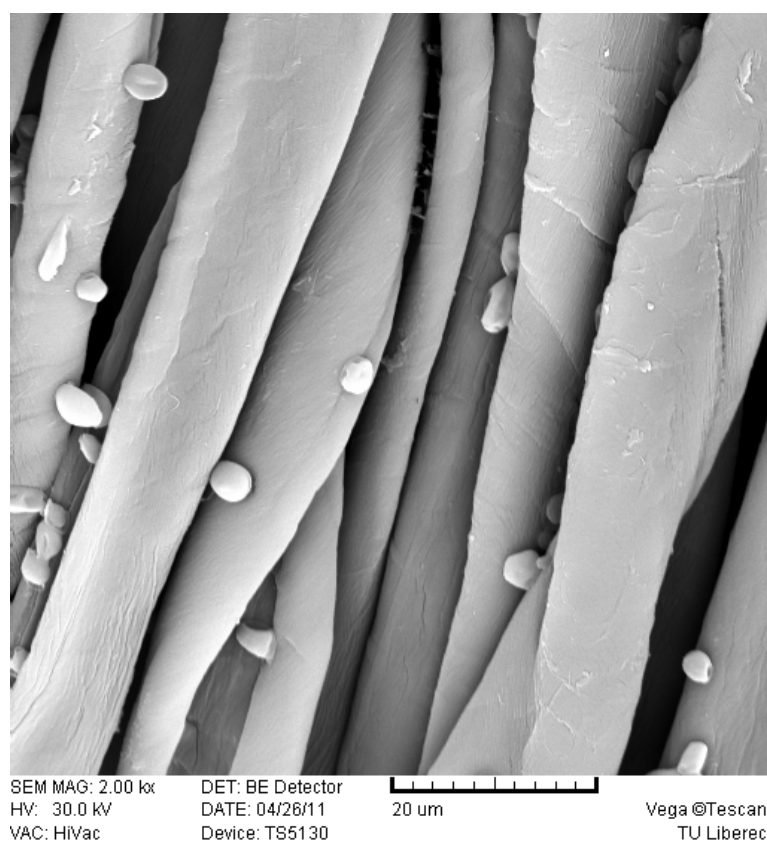
Vzorky připravené standardním postupem (viz **kap. 3.7.4** a **kap. 3.7.5**) byly pozorovány rastrovacím elektronovým mikroskopem.



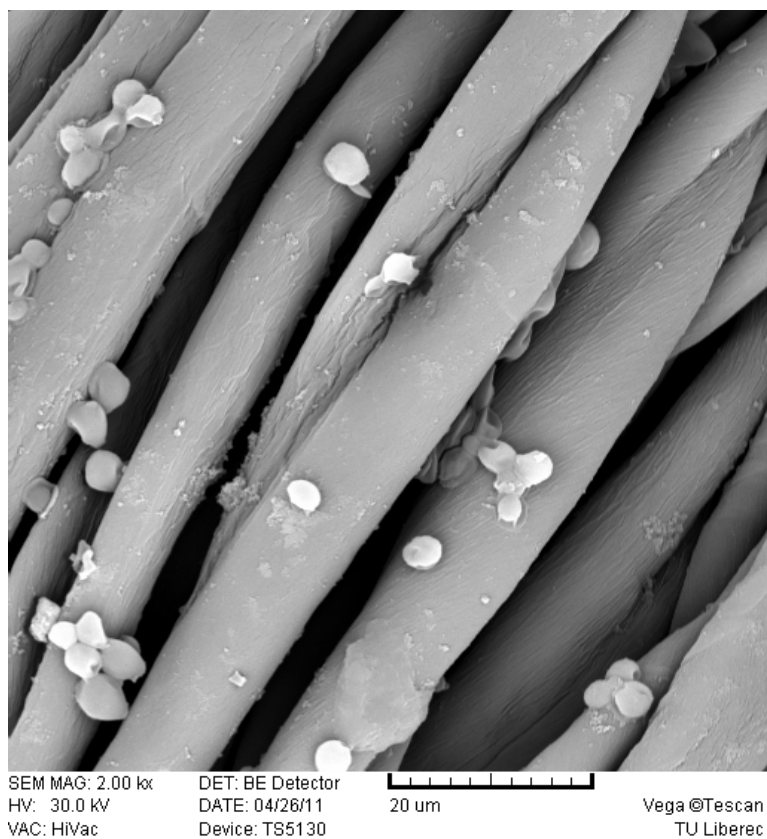
**Obr. 3.18** *Bavlna před fermentací*



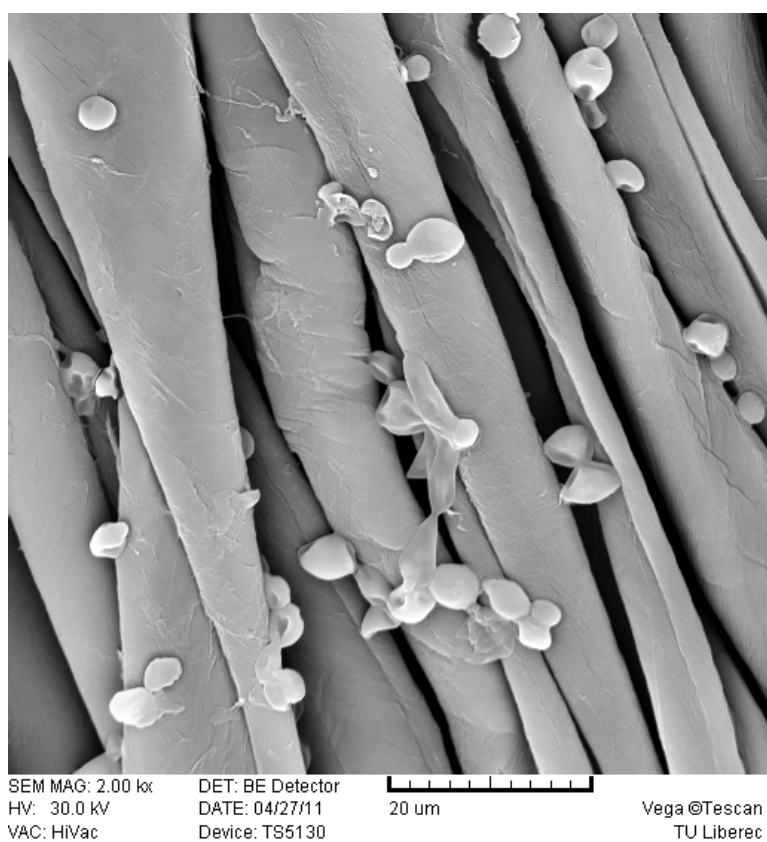
**Obr. 3.19** *Bavlna s TiO<sub>2</sub> před fermentací*



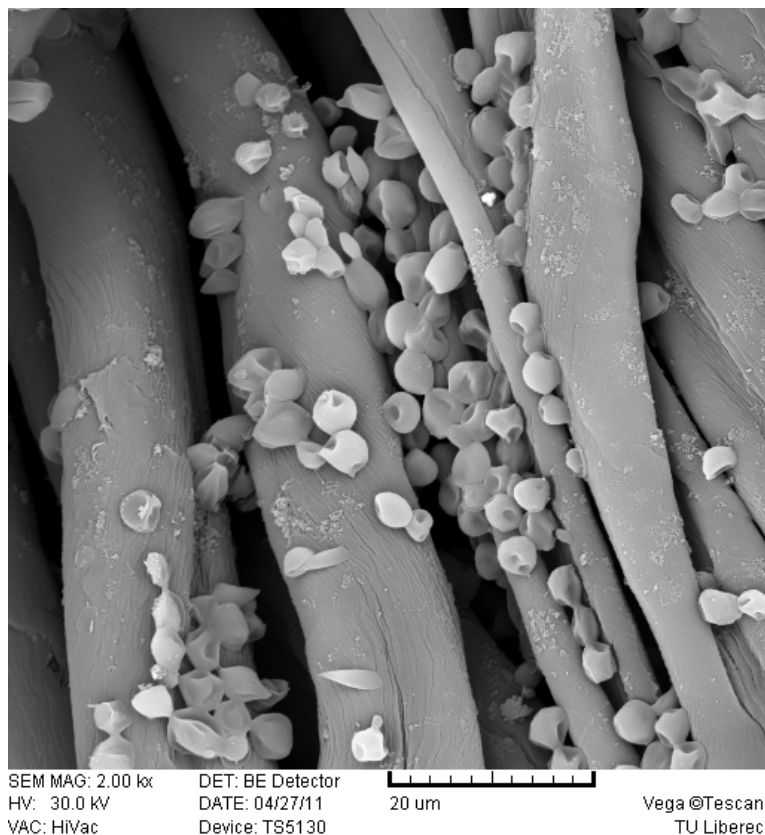
**Obr. 3.20** *Bavlna + 0 min UVA + KV.*



**Obr. 3.21** *Bavlna s TiO<sub>2</sub> + 0 min UVA + KV.*



**Obr. 3.22** *Bavlna + 60 min UVA + KV.*



**Obr. 3.23** *Bavlna s  $\text{TiO}_2$  + 60 min UVA + KV.*

#### **Vyhodnocení vzorků z REM:**

Na obrázcích je jasně viditelný rozdíl bavlny s  $\text{TiO}_2$  oproti snímkům s bavlněnou tkaninou.

Na snímcích z REM jsou zobrazeny nanočástice  $\text{TiO}_2$ , které jsou sorbovány a deponovány na vláknech bavlny. Na povrchu vláken je viděné  $\text{TiO}_2$  pod  $1\mu\text{m}$ .

Na bavlněné tkanině se tvořily shluky kvasinek s velikostí cca  $4\mu\text{m}$ , které byly prostoupené na vláknech. Z REM není možné rozpoznat usmrcené kvasinek od aktivních.

### 3.7 POPIS EXPERIMENTŮ

#### 3.7.1 Testování kvasící aktivity na slepém pokusu

**Cíl pokusu:** Zjistit RRT CO<sub>2</sub> při fermentaci kvasinek.

**Příprava pokusu:**

50 ml testačního roztoku bylo složeno z: **45 ml „zásobního roztoku kvasinek“ + 5 ml „zásobního roztoku živné soli“**

Celkový objem obou roztoků byl odměřován dohromady a obsahoval 100 ml (90 ml „zásobního roztoku kvasinek“ a 10 ml „zásobního roztoku živné soli“).

Roztok byl promíchán a rozlit do 2 zkumavek po 50 ml. Při přípravě pokusu se téměř opakuje postup v testování experimentů, jen je pro každý experiment jinak uzpůsobený obsah roztoků.

Celková příprava experimentu, trvá přibližně 50 min.

**Podmínky v laboratoři** byly totožné u všech experimentů, proto dále již nezmiňovány.

Teplota kvašení: 22°C

Zapisovatelné (definované) hodnoty na pipetách: od **20 - 0 ml**.

#### 3.7.2 Testování kvasící aktivity na roztocích ovlivněné různou dobou ozařování UVA

**Cíl pokusu:** Zjišťování RRT CO<sub>2</sub> kvasinkami při působení UVA záření.

**Příprava pokusu:**

50 ml testační roztok byl složen z: „**45 ml „zásobního roztoku kvasinek“** (50g cukru s 200ml H<sub>2</sub>O a 1 sáček kvasinek vínka) + **5 ml „roztoku živné soli“** (500ml H<sub>2</sub>O + 2 sáčky živné soli)

Na magnetickém míchadle byl testační roztok promícháván po celou definovanou dobu spolu s ozařováním pod UVA lampou. Definovaná doba ozařování testačního roztoku byla stanovena na **10 min, 20 min, 30 min, 40 min a 60 min**, s rychlostí 3,5, bez zahřívání s vlnovou délkou 366nm.

Pracovní postup byl postupně 6x opakován, jen každý testační roztok byl po jinou dobu ozařovaný a nalitý samostatně do své určené zkumavky.

Celková příprava experimentu, trvá přibližně 230 min.

### 3.7.3 *Testování fotokatalýzy na roztocích ovlivněné různou dobou ozařování UVA*

**Cíl pokusu:** Zjistit RRT CO<sub>2</sub> kvasinkami při působení nanočástic oxidu titaničitého a působení UVA záření.

#### **Příprava pokusu:**

„suspenze TiO<sub>2</sub>“ obsahovala: **50 ml „roztoku živné soli“ + 0,1g TiO<sub>2</sub>.**

Na ultrazvukovém homogenizátoru s výkonem 50% po dobu 1 min byly rozbity shluky nanočástic „suspenze TiO<sub>2</sub>“.

Dále bylo odebráno **5 ml „suspenze TiO<sub>2</sub>“** a k němu přidáno **45 ml „zásobního roztoku kvasinek“** bylo smícháno 50ml testačního roztoku.

Na magnetickém míchadle byl testační roztok promícháván po celou definovanou dobu spolu s ozařováním pod UVA lampou. Definovaná doba ozařování testačního roztoku byla stanovena na **0 min** (bez ozařování a testační roztok byl nalitý rovnou do zkumavky), **10 min, 20 min, 30 min, 40 min a 60 min**, s rychlostí 3,5, bez zahřívání s vlnovou délkou 366nm.

Pracovní postup byl postupně 6x opakován, jen každý testační roztok byl po jinou dobu ozařovaný a nalitý samostatně do své určené zkumavky.

Celková příprava experimentu, trvá přibližně 250 min.

### **3.7.4 Testování kvasíci aktivity na bavlněné tkaniny ovlivněné různou dobou ozařování UVA**

**Charakteristika použitého materiálu – viz kap. 3. 1**

**Normovaná bavlněná tkanina – viz kap. 3.1.1**

#### **3.7.4.1 Ozařování velkého množství testačního roztoku (50ml)**

**Cíl pokusu:** Zjistit účinky UVA záření na kvasinky sorbované ve tkanině a v okolí tkaniny.

#### **Příprava pokusu**

Byla použita **normovaná bavlněná tkanina** a z ní byly nastříhané vzorky přesně podle laboratorní misky (odpovídala 1/3). Zvážené a změřené hodnoty 1x vzorku byly v průměru **1,4g** s parametry plochy **11,9 x 9,4cm**. 1x vzorek byl vložen do laboratorní misky.

50ml testační roztok byl smíchán z: **45 ml „zásobního roztoku kvasinek“** (50g cukru s 200ml H<sub>2</sub>O + 1 sáček kvasinek vínka) + **5 ml „roztoku živné soli“** (500ml H<sub>2</sub>O + 2 sáčky živné soli). Vzorek byl zalit testačním roztokem.

Pod UVA lampou byl ozařován vzorek, zalitý testačním roztokem, po definovanou dobu – **0 min** (bez ozařování vzorek byl smotan a vložen rovnou do zkumavky a testačním roztokem zalitý), **10 min, 20 min, 30 min, 40 min a 60 min** s vlnovou délkou 366nm

Po definovanou dobu ozařování byl z laboratorní misky vzorek vyndán a smotaný vložen do zkumavky. Zbytek ozařovaného testačního roztoku bylo vlito do zkumavky a byl zcela zalitý smotaný vzorek.

Celková příprava experimentu, trvá přibližně 270 min.



#### 3.7.4.2 Ozařování malého množství testačního roztoku (5ml)

**Cíl pokusu:** Zjistit účinky UVA záření na kvasinky sorbované ve tkanině.

##### **Příprava pokusu:**

Byla použita **normovaná bavlněná tkanina** a z ní byly nastříhané vzorky přesně podle laboratorní misky (odpovídala 1/3). Zvážené a změřené hodnoty 1x vzorku byly v průměru **1,4g** s parametry plochy **11,8 x 9,9cm**. 1x vzorek byl vložen do laboratorní misky.

5 ml základní testační roztok byl smíchán z: **4,5 ml „zásobního roztoku kvasinek“** (50g cukru s 200ml H<sub>2</sub>O + 1 sáček kvasinek vínka) + **0,5 ml „roztoku živné soli“** (500ml H<sub>2</sub>O + 2 sáčky živné soli). Vzorek byl zalit 5ml testačním roztokem.

Pod UVA lampou byl ozařován vzorek, smočený 5ml testačním roztokem, po definované dobu – **0 min** (bez ozařování vzorek byl smotán a vložen rovnou do zkumavky a zalitý zbývajícím kapkou testačního roztoku), **10 min, 20 min, 30 min, 40 min a 60 min** s vlnovou délkou 366nm

Po definované dobu ozařování byl z laboratorní misky vzorek vyndán a smotaný vložen do zkumavky. Zbývajícím kapka ozařovaného testačního roztoku byla vlita do zkumavky na vzorek.

45 ml doplňkový testační roztok byl smíchán z: **40,5 ml „roztoku cukru“** (z 50g cukru s 200ml H<sub>2</sub>O) + **4,5ml „roztoku živné soli“** (500ml H<sub>2</sub>O + 2 sáčky živné soli).

Vzorek byl dolitý 45ml doplňkovým roztokem do zkumavky a byl zcela zalitý smotaný vzorek.

Celkové množství obou roztoků obsahovalo 50ml testačního roztoku.

50 ml testační roztok obsahoval: **4,5 ml „zásobního roztoku kvasinek“**, **5 ml „roztoku živné soli“** a **40,5 ml „roztoku cukru“**.

Celková příprava experimentu, trvá přibližně 290 min.

### **3.7.5 Testování nánosu „suspence $\text{TiO}_2$ “ na bavlněné tkanině ovlivněné různou dobou ozařování UVA**

**Charakteristika použitého materiálu – viz kap. 3. 1**

**Normovaná bavlněná tkanina – viz kap. 3.1.1**

**Nános suspence  $\text{TiO}_2$  na normovanou bavlněnou textilií - viz kap. 3.5.2** předúprava normované bavlněné tkaniny navazuje na přípravu pokusu pro ozařování velkého a malého množství testačního roztoku.

#### **3.7.5.1 Ozařování velkého množství testačního roztoku (50ml)**

**Cíl pokusu:** Zjistit vliv nanočástic  $\text{TiO}_2$  nanesených do tkaniny na kvasinky za současného ozařování UVA zářením.

#### **Příprava pokusu:**

Byla použita **normovaná bavlněná tkanina s nánosem „suspence  $\text{TiO}_2$ “** a z ní byly nastříhané vzorky přesně podle laboratorní misky (odpovídala 1/3). Zvážené a změřené hodnoty 1x vzorku byly v průměru **1,4 g** s parametry plochy **11,4 x 9,8 cm**. 1x vzorek byl vložen do laboratorní misky.

50 ml testační roztok byl smíchán z: **45 ml „zásobního roztoku kvasinek“** (50g cukru s 200ml  $\text{H}_2\text{O}$  + 1 sáček kvasinek vínka) + **5 ml „roztoku živné soli“** (500ml  $\text{H}_2\text{O}$  + 2 sáčky živné soli). Vzorek byl zalit testačním roztokem.

Pod UVA lampou byl ozařován vzorek, zalitý testačním roztokem, po definovanou dobu – **0 min** (bez ozařování vzorek byl smotan a vložen rovnou do zkumavky a testačním roztokem zalitý), **10 min, 20 min, 30 min, 40 min a 60 min** s vlnovou délkou 366nm

Po definovanou dobu ozařování byl z laboratorní misky vzorek vyndán a smotaný vložen do zkumavky. Zbytek ozařovaného testačního roztoku nalit do zkumavky a byl zcela zalitý smotaný vzorek.

Celková příprava experimentu, trvá přibližně 270 min.

### 3.7.5.2 Ozařování malého množství testačního roztoku (5ml)

**Cíl pokusu:** Zjistit vliv nanočástic  $\text{TiO}_2$  nanesených do tkaniny na kvasinky za současného ozařování UVA zářením.

#### **Příprava pokusu:**

Byla použita **normovaná bavlněná tkanina s nánosem „suspence  $\text{TiO}_2$ “** a z ní byly nastříhané vzorky přesně podle laboratorní misky (odpovídala 1/3). Zvážené a změřené hodnoty 1x vzorku byly v průměru **1,4g** s parametry plochy **11,3 x 9,7cm**. 1x vzorek byl vložen do laboratorní misky.

5 ml základní testační roztok byl smíchán z: **4,5 ml „zásobního roztoku kvasinek“** (50g cukru s 200ml  $\text{H}_2\text{O}$  + 1 sáček kvasinek vínka) + **0,5 ml „roztoku živné soli“** (500ml  $\text{H}_2\text{O}$  + 2 sáčky živné soli). Vzorek byl zalit 5ml testačním roztokem.

Pod UVA lampou byl ozařován vzorek, smočený 5ml testačním roztokem, po definované dobu – **0 min** (bez ozařování vzorek byl smotán a vložen rovnou do zkumavky a zalitý zbývajícím kapkou testačního roztoku), **10 min, 20 min, 30 min, 40 min a 60 min** s vlnovou délkou 366nm

Po definované době ozařování byl z laboratorní misky vzorek vyndán a smotaný vložen do zkumavky. Zbývajícím kapka ozařovaného testačního roztoku byla vlita do zkumavky na vzorek.

45 ml doplňkový testační roztok byl smíchán z: **40,5 ml „roztoku cukru“** (z 50g cukru s 200ml  $\text{H}_2\text{O}$ ) + **4,5ml „roztoku živné soli“** (500ml  $\text{H}_2\text{O}$  + 2 sáčky živné soli).

Vzorek byl dolitý 45ml doplňkovým roztokem do zkumavky a byl zcela zalitý smotaný vzorek.

Celkové množství obou roztoků obsahovalo 50ml testačního roztoku.

50 ml testační roztok obsahoval: **4,5 ml „zásobního roztoku kvasinek“**, **5 ml „roztoku živné soli“** a **40,5 ml „roztoku cukru“**.

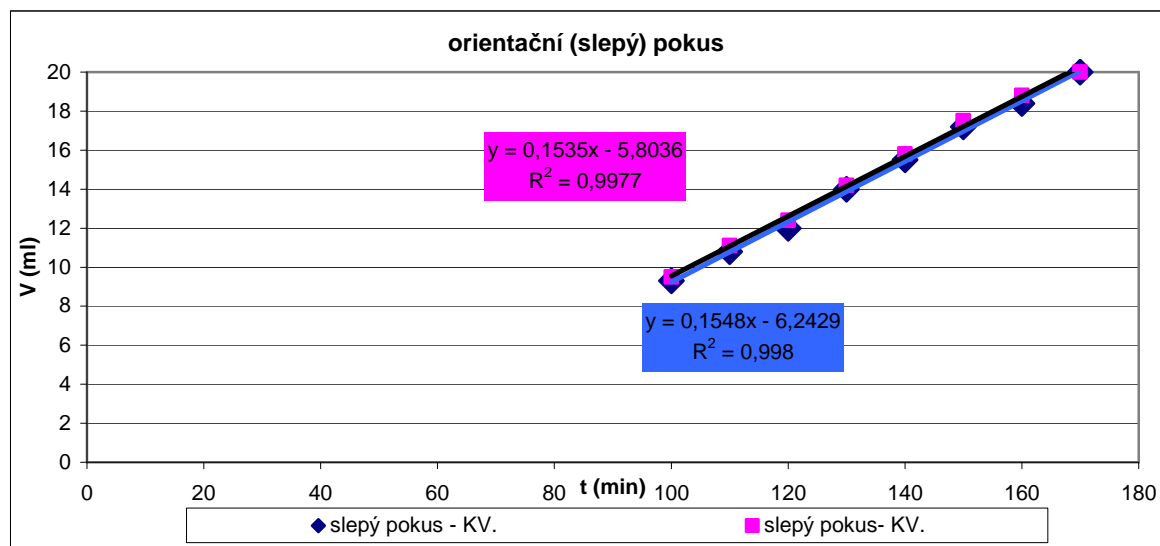
Celková příprava experimentu, trvá přibližně 290 min.

### 3.8 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

#### 3.8.1 Průběh slepého kvasícího pokusu

Výsledky testu:

Z tab. 3.2 (viz *Příloha A*) jsou vypočítány hodnoty ke grafu.



Graf 3.1 Množství úniku  $\text{CO}_2$

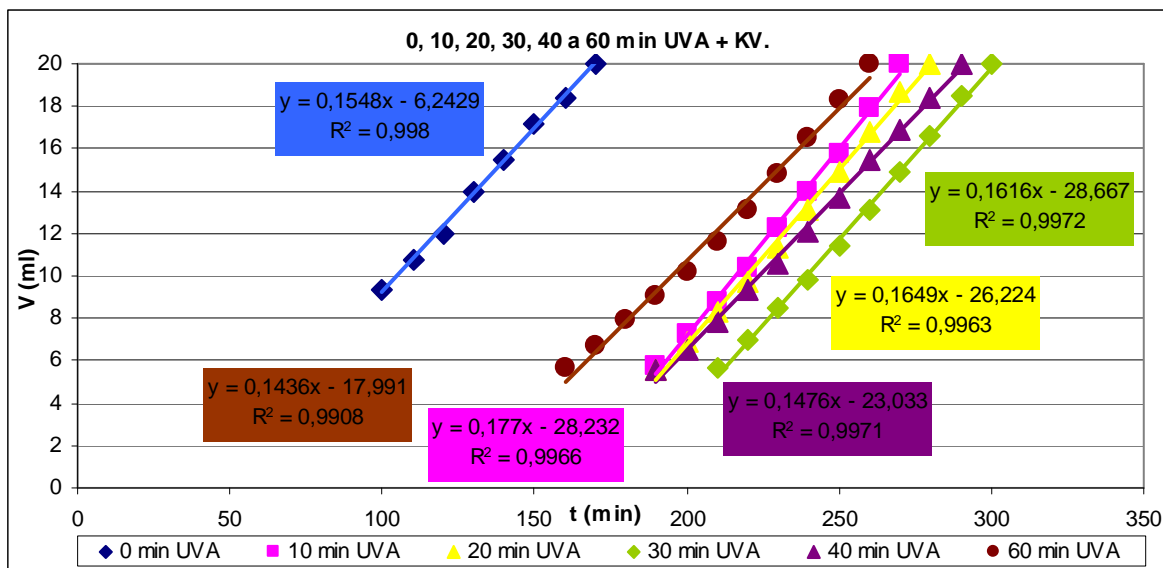
Vyhodnocení testu:

V tabulce jsou uvedené zprůměrované hodnoty, které vyšly ze všech stejně testovaných pokusů. Z těchto dat vyplývá, že doba fermentace postupně byla ukončena ve 170min. Z grafu bylo vypočítáno  $\text{RRT CO}_2 = 99,2\%$ . Z experimentu je zřejmá vysoká fermentační aktivita roztoku.

### 3.8.2 Průběh kvašení na roztocích ovlivněný různou dobou ozařování UVA

#### Výsledky testu:

Z tab. 3.3 (viz *Příloha A*) jsou vypočítány hodnoty ke grafu.



Graf 3.2 Množství úniku  $CO_2$

#### Vyhodnocení testu:

Z tabulky vyplývá, že doba kvašení postupně byla ukončena v rozmezí 170 až 300 min.

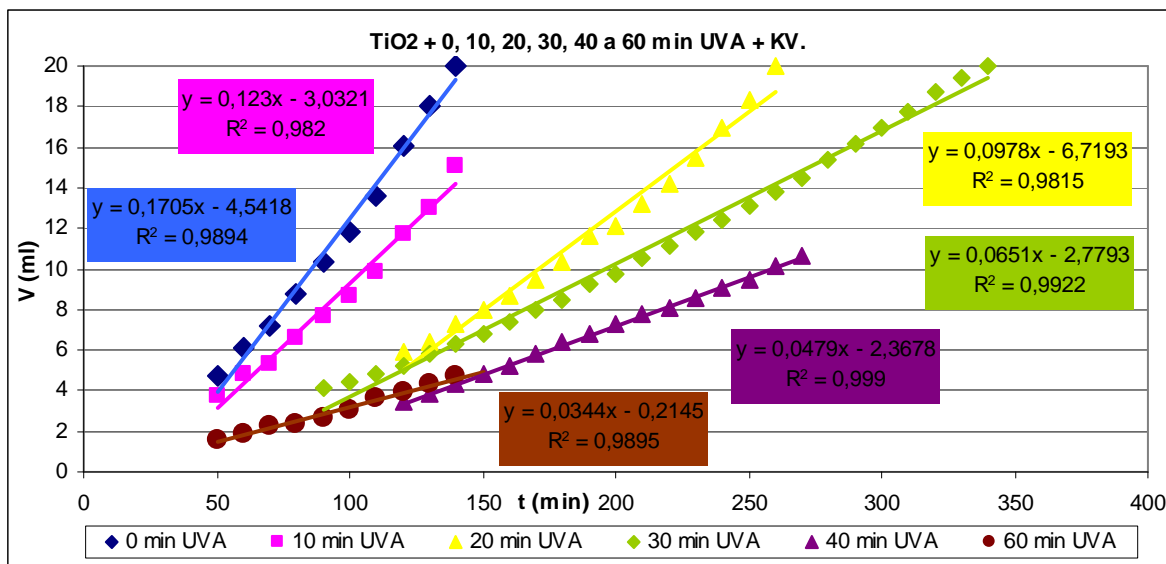
Z grafu bylo vypočítáno RRT  $CO_2$  pro: 0 min UVA = 100%, 10 min UVA = 87,5%, 20 min UVA = 93,9%, 30 min UVA = 95,8%, 40 min UVA = 95,3% a 60 min UVA = 92,8%.

UVA záření nemá znatelný vliv na aktivitu kvasinek, tzn., nedochází k usmrcování kvasinek.

### 3.8.3 Průběh fotokatalýzy na roztocích ovlivněný různou dobou ozařování UVA

#### Výsledky testu:

Z tab. 3.4 (viz *Příloha A*) jsou vypočítány hodnoty ke grafu.



**Graf 3.3** Množství úniku CO<sub>2</sub>

#### Vyhodnocení testu:

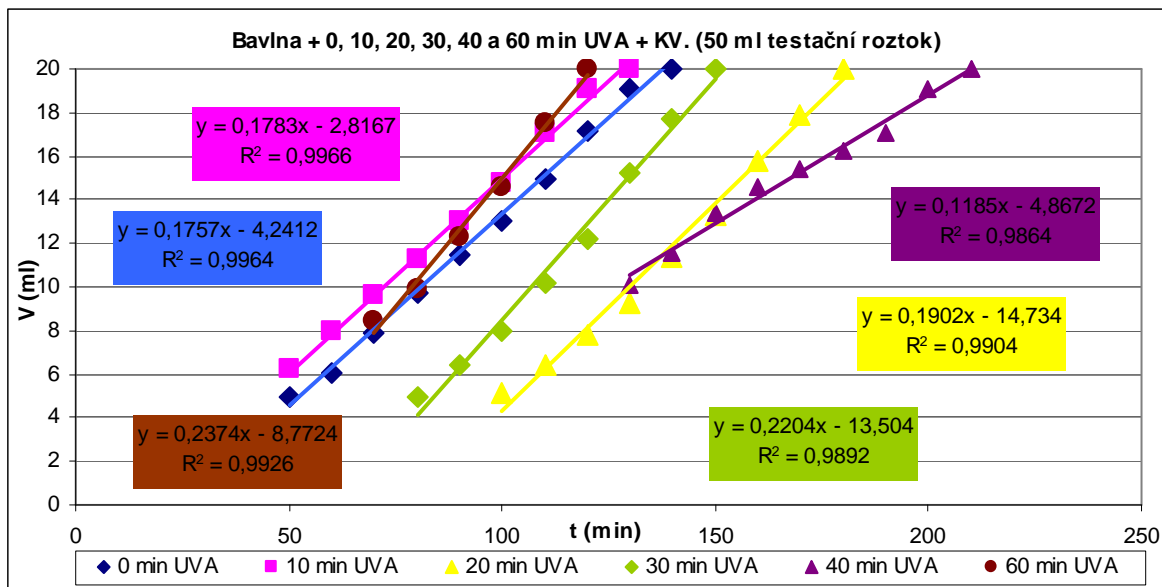
Z tabulky vyplývá, že doba kvašení byla postupně ukončena v rozmezí 150 až 340 min. Z grafu bylo vypočítáno RRT CO<sub>2</sub> pro: 0 min UVA = 100%, 10 min UVA = 72,1%, 20 min UVA = 57,4%, 30 min UVA = 38,2%, 40 min UVA = 26,0% a 60 min UVA = 20,2%. UV záření aktivovalo nanočástice TiO<sub>2</sub> a ty začaly aktivně usmrcovat kvasinky. Z grafu je vidět úbytek CO<sub>2</sub>, jež reflektuje (odráží) klesající životaschopnost kvasinek.

### 3.8.4 Průběh kvašení na bavlněné tkaniny ovlivněný různou dobou ozařování UVA

#### 3.8.4.1 Ozařování velkého množství testačního roztoku (50ml)

#### Výsledky testu:

Z tab. 3.5 (viz *Příloha A*) jsou vypočítány hodnoty ke grafu.



Graf 3.4 Množství úniku  $CO_2$

#### Vyhodnocení testu:

Z tabulky vyplývá, že doba kvašení postupně byla ukončena v rozmezí 130 až 210 min.

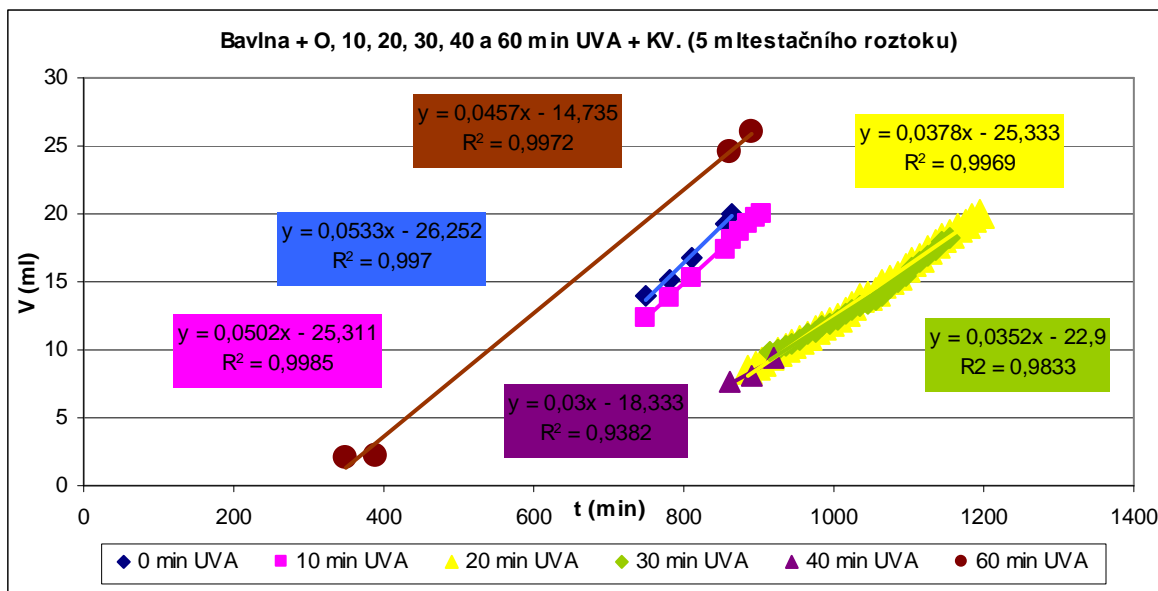
Z grafu bylo vypočítáno RRT  $CO_2$  pro: 0 min UVA = 100%, 10 min UVA = 98,5%, 20 min UVA = 92,4%, 30 min UVA = 79,7%, 40 min UVA = 67,4% a 60 min UVA = 74,0%.

Pokud jsou kvasinky sorbovány do bavlny (nacházejí se též pod bavlnou a v jejím okolí), UV záření nemá vliv na degradaci kvasinek. UV záření je pravděpodobně pohlcováno tkaninou a kvasinky jsou tak chráněny.

## 3.8.4.2 Ozařování malého množství testačního roztoku (5ml)

## Výsledky testu:

Z tab. 3.6 (viz *Příloha A*) jsou vypočítány hodnoty ke grafu.



## Vyhodnocení testu:

Z tabulky vyplývá, že doba kvašení postupně byla ukončena v rozmezí 865 až 1195 min. Z grafu bylo vypočítáno RRT  $CO_2$  pro: 0 min UVA = 100%, 10 min UVA = 94,2%, 20 min UVA = 70,9%, 30 min UVA = 66,0%, 40 min UVA = 56,3% a 60 min UVA = 85,7%. Malé množství testačního roztoku smočí tkaninu, roztok se tedy nachází pouze uvnitř bavlny. UV záření nemá taktéž vliv na degradaci kvasinek. UV záření je pravděpodobně opět pohlcováno tkaninou a kvasinky jsou tak chráněny.

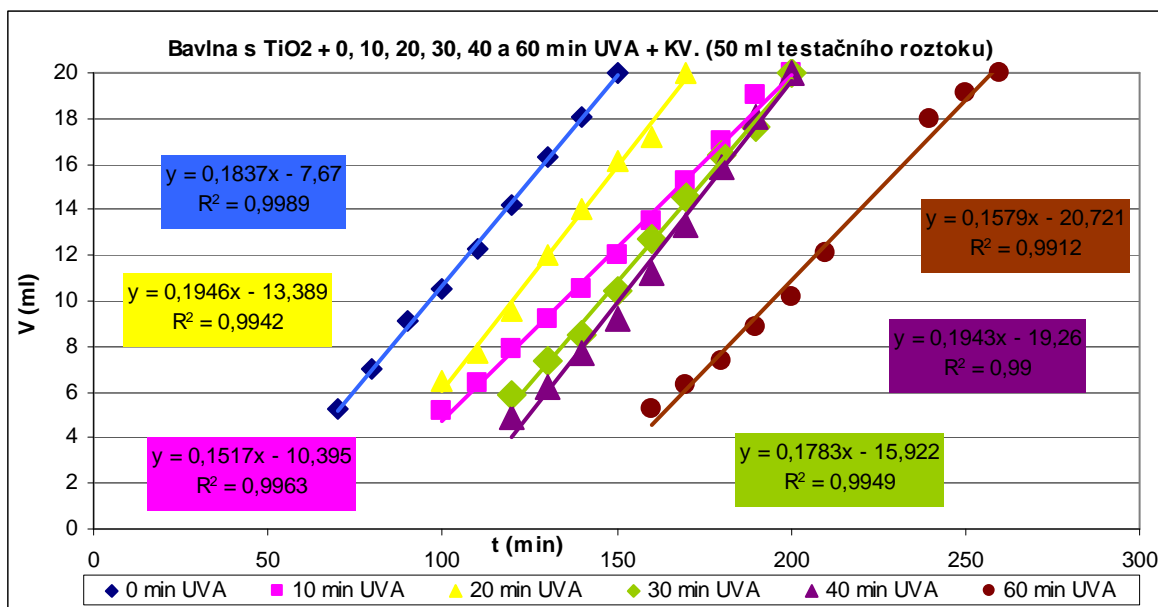


### 3.8.5 Průběh kvašení s nánosem „suspenze $\text{TiO}_2$ “ na bavlněné tkanině ovlivněný různou dobou ozařování UVA

#### 3.8.5.1 Ozařování velkého množství testačního roztoku (50ml)

#### Výsledky testu:

Z tab. 3.7 (viz Příloha A) jsou vypočítány hodnoty ke grafu.



Graf 3.6 Množství úniku  $\text{CO}_2$

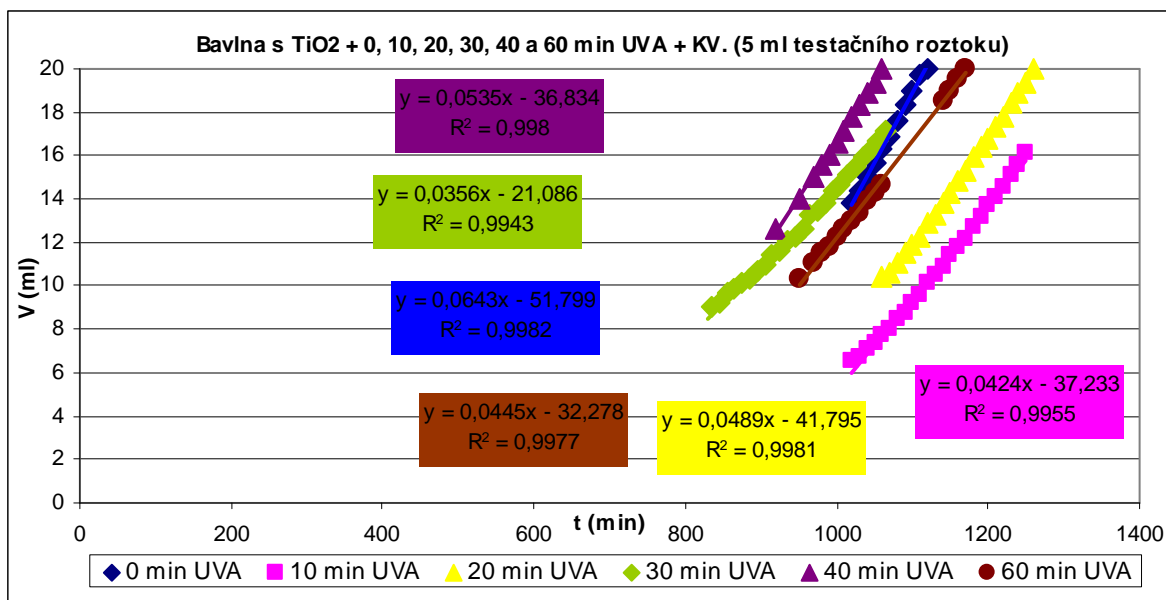
#### Vyhodnocení testu:

Z tabulky vyplývá, že doba kvašení postupně byla ukončena v rozmezí 150 až 250 min. Z grafu bylo vypočítáno RRT  $\text{CO}_2$  pro: 0 min UVA = 100%, 10 min UVA = 98,5%, 20 min UVA = 92,4%, 30 min UVA = 79,4%, 40 min UVA = 67,4% a 60 min UVA = 74,0%. Z výsledných grafů je vidět, že suspenze  $\text{TiO}_2$  v bavlně při současném ozařování nemá podstatný vliv na život kvasinek. Nanočástice  $\text{TiO}_2$  jsou pravděpodobně částečně aktivovány UV zářením, ale protože neprobíhá v roztoku míchání, částice se shlukují a tím ztrácí svoji aktivitu.

## 3.8.5.2 Ozařování malého množství testačního roztoku (5ml)

## Výsledky testu:

Z tab. 3.8 (viz *Příloha A*) jsou vypočítány hodnoty ke grafu.

Graf 3.7 Množství úniku CO<sub>2</sub>

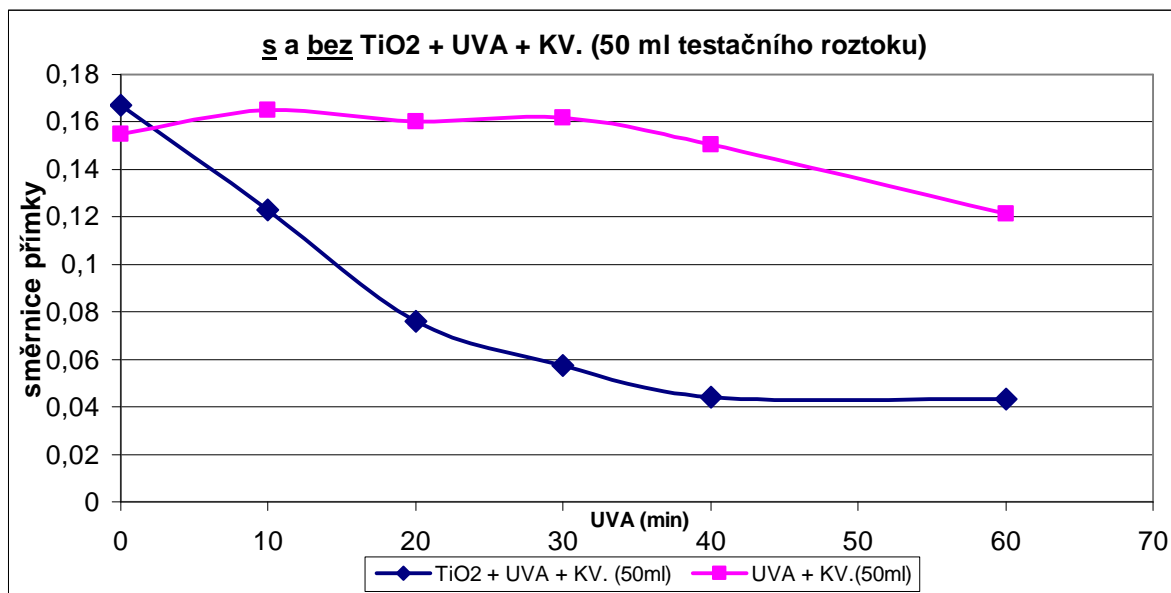
## Vyhodnocení testu:

Z tabulky vyplývá, že doba kvašení postupně byla ukončena v rozmezí 1060 až 1260 min. Z grafu bylo vypočítáno RRT CO<sub>2</sub> pro: 0 min UVA = 100%, 10 min UVA = 65,9%, 20 min UVA = 76,0%, 30 min UVA = 55,4%, 40 min UVA = 83,2% a 60 min UVA = 69,2%. Z výsledných grafů je opět vidět, že suspenze TiO<sub>2</sub> v bavlně při současném s ozařování nemá podstatný vliv na život kvasinek. Nanočástice TiO<sub>2</sub> jsou pravděpodobně částečně aktivovány UV zářením, ale neboť není možné částice v bavlně promíchávat, shlukují se a tím ztrácí svoji aktivitu.

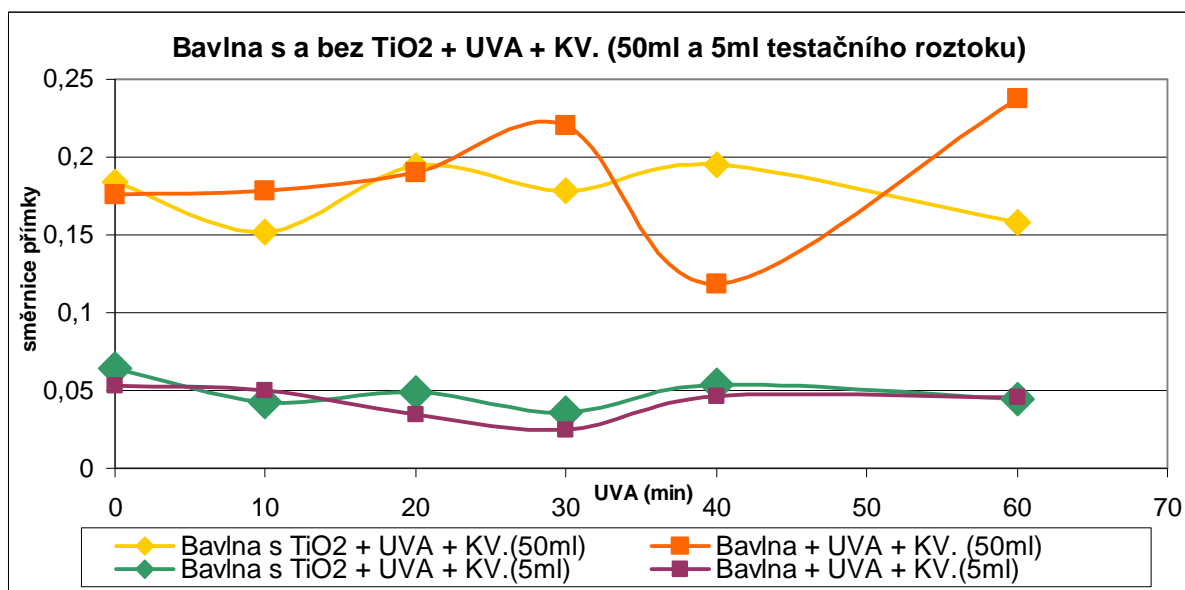
## 3.8.6 Působení silnějších zdrojů UVA záření na kvasinky

Byly zkoušeny účinky zdrojů UVA záření s větší aktivitou (cca 5 x silnější než byly používány u předešlých pokusů). Ze všech zkoušek vyplynulo, že silnější zdroje UVA záření nemají znatelný vliv na degradaci kvasinek.

## 3.8.7 Vzájemné porovnání všech prováděných experimentů na kvasinkách

Graf 3.8 Závislost různé doby působení UVA (min) na směrnici přímký - množství úniku CO<sub>2</sub>

V grafu vidíme porovnání roztoků s obsahem TiO<sub>2</sub> a bez něho. Při ozařování roztoku bez obsahu TiO<sub>2</sub> nedochází k žádným změnám v aktivitě kvasinek. Při ozařování roztoku s TiO<sub>2</sub> se nanočástice aktivují a likvidují kvasinky.

Graf 3.9 Závislost různé doby působení UVA (min) na směrnici přímký - množství úniku CO<sub>2</sub>

V grafu vidíme shrnutí experimentů s  $\text{TiO}_2$  na bavlně s 50 ml a 5 ml testačního roztoku.  $\text{TiO}_2$  na bavlně nijak významně neovlivňuje aktivitu kvasinek. Kvasinky jsou stále stejně aktivní, stále u nich probíhá intenzivní fermentace.

Z následujících průběhů je vidět, že kombinace bavlny s kvasinkami nemá vliv na jejich aktivitu. Důvodem je již výše zmiňovaná neprostupnost bavlny vůči UV záření.

#### **4. ZÁVĚR**

Úkolem mé diplomové práce bylo otestovat antibakteriální účinky úpravy fotoaktivními nanočásticemi  $\text{TiO}_2$ . Fotoaktivní nanočástice  $\text{TiO}_2$  byly zkoumány v roztocích a na bavlněných tkaninách. Postupně byly sledovány antibakteriální účinky fotoaktivních nanočástic  $\text{TiO}_2$ .

Antibakteriální účinky byly sledovány v testačních roztocích, na bavlněné tkanině a na bavlněné tkanině s nanočásticemi  $\text{TiO}_2$ . Byl sledován vliv působení UVA záření na modelové organismy pomocí RRT  $\text{CO}_2$ . Jako modelové organismy byly použity pouze kvasinky.

Z experimentů vyplývá, že kvasinky v roztoku jsou odolné proti působení UVA záření při nižších i vyšších intenzitách. Pokud se do roztoku přidají nanočástice  $\text{TiO}_2$  a dochází k ozařování roztoku UVA zářením, kvasinky jsou hubeny. Vysvětlujeme si to aktivací nanočástic UVA zářením a následnými ataky nanočástic na kvasinky. Pokud jsou kvasinky s nanočásticemi  $\text{TiO}_2$  nanесeny na bavlněnou tkaninu k usmrcování kvasinek nedochází. UVA záření je pravděpodobně částečně absorbováno tkaninou a nedochází tak k aktivaci nanočástic. Zároveň již částice nemají tolik volného prostoru k pohybu a promíchávání a dochází ke shlukování nanočástic. Tím se opět ztrácí jejich agresivní aktivita vůči kvasinkám. V uvedených experimentech není ani rozhodující množství použitých testačních roztoků. V samotném roztoku jsou výsledky hubících aktivit nanočástic  $\text{TiO}_2$  pozitivní, na bavlněné tkanině negativní, ať je testačního roztoku jakékoliv množství.

Další výzkum v této oblasti by se měl zaměřit na problematiku aktivity nanočástic  $\text{TiO}_2$  nanесených ve tkaninách. K aktivizaci nanočástic by se mělo odzkoušet silnější zdroje záření, jiné tkaniny, popř. otestovat jiné druhy nanočástic.

## 5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Fotokatalýza* [online]. 2010 [cit. 2011-01-30]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotokatal%C3%BDza>>.
- [2] ZEMAN, G. *Transparentní fotoaktivní vrstvy TiO<sub>2</sub> připravené metodou magnetronového naprašování za nízkých teplot* [online], Habilitační přednáška. 39 s. [cit. 2011-04-12]. Dostupný z WWW: <<http://seminare.fav.zcu.cz/media/document/prednaska-pz.pdf>>
- [3] DRAŠAROVÁ, Jana. *Vysocefunkční textilie: 9. Technologie SMART* [online]. Liberec: 15. 7. 2008, [cit. 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2008-07-18/11-13-55.pdf>>.
- [4] KRÝSA, Josef; KLUSOŇ, Petr. *NANOMATERIÁLY A FOTOKATALÝZA: 3. Seminář výzkumného centra NANOPIN*. Sborník příspěvků. 8. – 11. 6. 2009 Hnanice. Praha: VŠCHT Praha, 2009. s. 80. Dostupné z WWW: <<http://www.nanopin.cz/pdf/sbornik09.pdf>>. ISBN 978-80-7080-717-0
- [5] Obrázek dostupný z WWW: <<http://www.czechsolar.cz/fotovoltaika/princip-fungovani>>.
- [6] ZEMAN, G. *Ultraviolet Radiation* [online], Health Physics Society. [cit. 2011-04-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.hps.org/hpspublications/articles/uv.html>>
- [7] Světelný design [online]. Dostupný z WWW: <[http://www.osram.cz/osram\\_cz/SVTELN\\_DESIGN/O\\_svtle/Svtlo\\_v\\_mstnosti/Elektromagnetick\\_spektrum/index.html](http://www.osram.cz/osram_cz/SVTELN_DESIGN/O_svtle/Svtlo_v_mstnosti/Elektromagnetick_spektrum/index.html)>
- [8] *Elektromagnetické spektrum* [online]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9\\_spektrum](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum)>

- [9] *Ultrafialové záření [online]*. 2010 [cit. 2011\_01\_30]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrafialov%C3%A9\\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD#Vyu.C5.BEit.C3.AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrafialov%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD#Vyu.C5.BEit.C3.AD)>.
- [10] *Ultrafialového světla a opalování [online]*. Dostupný z WWW: <<http://thescienceofacne.com/cs/in-depth-ultraviolet-light-and-tanning>>
- [11] *Vlnová optika, elektromagnetické záření – Lazi [online]*. Dostupný z WWW: <[http://gymvod.ic.cz/studium/Vlnova\\_optika.doc](http://gymvod.ic.cz/studium/Vlnova_optika.doc)>
- [12] *Titan dioxide [online]*. 4. 12. 2011 [cit. 2011-04-11] Dostupná z WWW: <<http://titan-dioxide.navajo.cz>>.
- [13] *Oxid titaničitý [online]*. 4. 10. 2011 [cit. 2011-04-11] Dostupná z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid\\_titani%C4%8Dit%C3%BD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_titani%C4%8Dit%C3%BD)>.
- [14] VIKOVÁ, M., VIK, M. *Trendy textilní chemie: 19. Textile based sensors. Photocatalytic compounds (TiO<sub>2</sub>)*. Katedra textilní chemie, fakulta textilní. TU Liberec. 19. 3. 2011, [cit. 2011-04-11]. 44 s.
- [15] *Photocatalysis Applications of Titanium Dioxide TiO<sub>2</sub> [online]*. 4. 12. 2011 [cit. 2011-04-11] Dostupná z WWW: <<http://titaniumart.com/photocatalysis-ti02.html>>.
- [16] TOUŽÍN, Jan. *Stručný přehled chemie prvků*. Brno: Masarykova univerzita, 2001. 225 s. ISBN 80-210-2635-9.
- [17] WU, T. - S.: *Electrical Engineering 2*, 2003, s. 124.
- [18] *Povaha světla [online]*. 2010 [cit. 2011\_03\_27]. Dostupný z WWW: <[http://www.jh-inst.cas.cz/3nastroje/data/dokument/soubor/Jirkovsky\\_lecture\\_presentation\\_LS2008.pdf](http://www.jh-inst.cas.cz/3nastroje/data/dokument/soubor/Jirkovsky_lecture_presentation_LS2008.pdf)>
- [19] KLIKORKA, J., HÁJEK, B., VOTINSKÝ, J.: *Obecná a anorganická chemie*. SNTL, Praha, 1985.

- [20] GREENWOOD, N. N., EARNSHAW, A.: *Chemie prvků*. Praha: Informatorium, 1993, s. 1185.
- [21] HÁJKOVÁ, P.; ŠPATENKA, P.: *Studium vlivu vlastností TiO<sub>2</sub> vrstev na fotokatalytický rozklad mikroorganismů a steroidních hormonů*. Přehledový text k projektu FRVŠ 2048/G1. 2007. Katedra materiálů, fakulta strojní, TU Liberec. 32 s. Dostupný také z WWW: <<http://www.kmt.tul.cz/sekce/doplňky/Studium.pdf>>
- [22] FUJISHIMA, A. ZHANG, X. TRYK, D. A. *TiO<sub>2</sub> photocatalysis and related surface phenomena*. Surface Science Reports. 2008, 63, s. 515-582.
- [23] VODRÁŽKA, Zdeněk. *Biochemie pro studenty středních škol a všechny, které láká tajemství živé přírody*. Praha: Scientia, 1998. 1111 s. ISBN 80-7183-083-6.
- [24] ROSYPAL, Stanislav. *Přehled biologie. 3. upr. vyd.* Praha: Scientia, 1998. 642 s. ISBN 80-7183-110-7.
- [25] VODRÁŽKA, Zdeněk. *Biochemie. 2. upr. vyd.* Praha: Academia, 2002. 192 s. ISBN 80-200-0600-1.
- [26] *Bakterie [online]*. 1999, 16. 10. 2008 [cit. 2008-10-16]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Bakterie>>.
- [27] *Úvod do bakteriologie: bakteriální cytoarchitektonika [online]*. 2001, 17. 2. 2004 [cit. 2008-10-30]. Dostupný z WWW: <<http://biomikro.vscht.cz/trp/documents/biochmikroorg/Bakteriologie.ppt>>.
- [28] VODRÁŽKA, Zdeněk, KRECHL, Jiří. *Bioorganická chemie*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1991. 480 s.
- [29] ODSTRČIL, Jaroslav. *Biochemie: Učební text pro střední zdravotnické školy*. Brno: Institut pro další vzdělávání ve zdravotnictví pracovníků ve zdravotnictví Brno, 1995. 161 s. ISBN 80-7013-190-X.



- [30] ELLIOTT, ELLIOTT, Daphne. *Biochemistry nad Molecular Biology*. New York: Oxford University Press, 2003. 586 s. ISBN 0198700458.
- [31] ROSYPAL, Stanislav. *Nový přehled biologie*. Praha: Scientia, 2003. 797 s. ISBN 80-7183-268-5.
- [32] *Bakterie [online]*. 2007 [cit. 2008-10-09]. Dostupný z WWW: <<http://referaty-seminarky.cz/bakterie-2/>>. ISBN 1802-422X.
- [33] JULÁK, Jaroslav. *Úvod do lékařské bakteriologie*. Univerzita Karlova v Praze: Karolinum, 2006. 404 s. ISBN 80-246-1270-4.
- [34] *Kvasinky [online]*. 1999 [cit. 2008-10-16]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kvasinky>>.
- [35] SAVICKÁ, Dana. *Miniatlas mikroorganismů [online]*. 2008 [cit. 2006-10-30]. Dostupný z WWW: <<http://w1.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/mikr.htm>>.
- [36] SKOŘEPOVÁ, Magdalena. *Dermatomyecology in pictures*. Praha: Galén, 2008. 95 s. ISBN 978-80-7262-465-2.
- [37] JENČ, Pavel. *Kvasinky [online]*. 2005 [cit. 2008-11-12]. Dostupný z WWW: <<http://biomikro.vscht.cz/trp/documents/mikrobiologie/Kvasinky.pdf>>.
- [38] *SACCHAROMYCES CEREVISIAE Hansen [online]*. 1999 [cit. 2008-12-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.sci.muni.cz/mikrob/Miniatlas/images/kvasinky/kolonie/sacchk.jpg>>.
- [39] ŠKÁRKA, Bohumil, FERENČÍK, Miroslav. *Biochémiá*. Bratislava: Alfa, 1983 tisk. 640 s.

- [40] DOUBRAVA, Jaroslav, KOŠTÍŘ, Josef. *Základy biochemie*. Praha: SPN, 1984. 269 s.
- [41] KOŠTÍŘ, Josef. *Biochemie*. Praha: AVICENUM, 1974. 560 s.
- [42] VACÍK, Jiří, a kol. *Přehled středoškolské chemie*. Praha: SPN - pedagogické nakladatelství, 1995. 365 s. ISBN 80-85937-08-5.
- [43] M. Sedlářová & J. Medková (KB PřF UP) 2007
- [44] BLAŽEJ, Anton. *Špeciálne chemické úpravy textilií*. Bratislava: Alfa, technické a ekonomické literatury, 1986. 272 s.
- [45] PASTRNEK, Rudolf, VLACH, Petr. *Finální úpravy textilií*. Liberec: Fakulta textilní, 2002. 111 s.
- [46] Obrázek dostupný z WWW: <<http://chemie3d.wz.cz/models.php?id=27>>
- [47] WIENER, Jakub; PRŮŠOVÁ, Mária; KRYŠTŮFEK, Jiří. *Chemicko-textilní rozbor* [online]. Liberec: TU Liberec, Katedra textilní chemie. 16. 7. 2008. [cit. 2011-04-13]. Dostupné z WWW: <[https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list\\_kat.cgi?kat=KTC&skr=179&pro=>](https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list_kat.cgi?kat=KTC&skr=179&pro=>)>.
- [48] Bavlna [online]. 1999, 1. 12. 2008 [cit. 2008-12-01]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Bavlna>>.
- [49] KRYŠTŮFEK, Jiří, a kol. *Technologie zušlechťování*. Liberec: Technická univerzita, 2002. 177 s. ISBN 80-7083-560-5 .
- [50] MILITKÝ, Jiří. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita, 2002. 238 s. ISBN 80-7083-644-X.
- [51] Sacharóza [online]. 1999, 26. 11. 2008 [cit. 2008-12-20]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Sachar%C3%B3za>>.

- [52] Kyselina sírová [online]. 1999, 7. 12. 2008 [cit. 3008-12-20]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina\\_s%C3%ADrov%C3%A1](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina_s%C3%ADrov%C3%A1)>.
- [53] OHNO, Teruhisa , et al. Morphology of a TiO<sub>2</sub> Photocatalyst (Degussa, P-25) Consisting of Anatase and Rutile Crystalline Phases. *Journal of Catalysis* 203: *Research Center for Solar Energy Chemistry, Osaka University, 1-3 Machikaneyama, Toyonaka, Osaka, Japan*. 1. října 2001, 1, s. 82-86.  
[cit. 2011-01-30] Dostupný také z WWW: <<http://www.idealibrary.com>>.  
ISSN 560-8531.

## **SEZNAM POUŽITÝCH PŘÍLOH**

**PŘÍLOHA A**      Tabulky

## PŘÍLOHA A

### Tabulky

**Tab. 3.2** *Závislost objemu  $V$  (ml) na čase  $t$  (min) - průběh úniku  $CO_2$*

| t (min) | slepý pokus – KV. | slepý pokus – KV. |
|---------|-------------------|-------------------|
| 0       | 0                 | 0                 |
| 10      | 1,5               | 1,7               |
| 20      | 1,8               | 2                 |
| 30      | 2,3               | 2,6               |
| 40      | 3                 | 3,2               |
| 50      | 3,7               | 4,1               |
| 100     | 9,3               | 9,5               |
| 110     | 10,8              | 11,1              |
| 120     | 12                | 12,4              |
| 130     | 14                | 14,2              |
| 140     | 15,5              | 15,8              |
| 150     | 17,2              | 17,5              |
| 160     | 18,4              | 18,8              |
| 170     | 20                | 20                |

**Tab. 3.3** Závislost objemu  $V$  (ml) na čase  $t$  (min) - průběh úniku  $CO_2$ 

| t (min) | 0 min UVA | 10 min UVA | 20 min UVA | 30 min UVA | 40 min UVA | 60 min UVA |
|---------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0       | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 10      | 1,5       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 20      | 1,8       | 0          | 0          | 0          | 0,2        | 0,3        |
| 30      | 2,3       | 0          | 0          | 0          | 0,4        | 0,5        |
| 40      | 3         | 0          | 0,2        | 0          | 0,7        | 0,7        |
| 50      | 3,7       | 0          | 0,4        | 0          | 1,1        | 1,1        |
| 60      |           | 0,2        | 0,6        | 0          | 1,4        | 1,3        |
| 70      |           | 0,5        | 0,8        | 0          | 1,8        | 1,8        |
| 80      |           | 0,7        | 1,2        | 0,1        | 1,9        | 2          |
| 90      |           | 0,9        | 1,3        | 0,2        | 2          | 2,2        |
| 100     | 9,3       | 1          | 1,4        | 0,2        | 2,2        | 2,5        |
| 110     | 10,8      | 1,1        | 1,6        | 0,3        | 2,4        | 2,9        |
| 120     | 12        | 1,5        | 1,7        | 0,4        | 2,5        | 3,2        |
| 130     | 14        | 1,7        | 1,8        | 0,5        | 2,8        | 3,7        |
| 140     | 15,5      | 1,9        | 2,1        | 0,7        | 3,1        | 4,3        |
| 150     | 17,2      | 2,3        | 2,4        | 0,8        | 3,5        | 4,9        |
| 160     | 18,4      | 2,8        | 2,9        | 0,9        | 3,8        | 5,7        |
| 170     | 20        | 3,5        | 3,4        | 1,3        | 4,2        | 6,7        |
| 180     |           | 4,6        | 4,5        | 2          | 4,8        | 7,9        |
| 190     |           | 5,8        | 5,6        | 3          | 5,6        | 9,1        |
| 200     |           | 7,3        | 6,9        | 4,3        | 6,5        | 10,2       |
| 210     |           | 8,8        | 8,3        | 5,7        | 7,8        | 11,6       |
| 220     |           | 10,4       | 9,7        | 7          | 9,3        | 13,1       |
| 230     |           | 12,3       | 11,3       | 8,5        | 10,6       | 14,8       |
| 240     |           | 14         | 13,1       | 9,8        | 12,1       | 16,5       |
| 250     |           | 15,8       | 14,9       | 11,4       | 13,7       | 18,3       |
| 260     |           | 17,9       | 16,8       | 13,1       | 15,5       | 20         |
| 270     |           | 20         | 18,7       | 14,9       | 16,9       |            |
| 280     |           |            | 20         | 16,6       | 18,4       |            |
| 290     |           |            |            | 18,5       | 20         |            |
| 300     |           |            |            | 20         |            |            |

**Tab. 3.4** Závislost objemu  $V$  (ml) na čase  $t$  (min) - průběh úniku  $CO_2$ 

| t (min) | 0 min UVA | 10 min UVA | 20 min UVA | 30 min UVA | 40 min UVA | 60 min UVA |
|---------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0       | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 10      | 0,9       | 0,8        | 0,6        | 0,5        | 0          | 0,4        |
| 20      | 1,8       | 1,5        | 1,2        | 1          | 0          | 0,6        |
| 30      | 3,1       | 2,6        | 1,6        | 1,2        | 0          | 1,1        |
| 40      | 3,6       | 3          | 1,8        | 1,8        | 0          | 1,3        |
| 50      | 4,7       | 3,7        | 2,4        | 2,2        | 0,4        | 1,6        |
| 60      | 6,1       | 4,8        | 2,7        | 2,6        | 0,7        | 1,9        |
| 70      | 7,2       | 5,3        | 3,1        | 3,1        | 1,1        | 2,3        |
| 80      | 8,8       | 6,6        | 4          | 3,4        | 1,5        | 2,4        |
| 90      | 10,3      | 7,7        | 4,3        | 4,1        | 2,3        | 2,7        |
| 100     | 11,8      | 8,7        | 4,7        | 4,4        | 2,7        | 3,1        |
| 110     | 13,6      | 9,9        | 5,5        | 4,8        | 3          | 3,6        |
| 120     | 16,1      | 11,7       | 5,9        | 5,2        | 3,4        | 3,9        |
| 130     | 18        | 13         | 6,4        | 5,8        | 3,8        | 4,3        |
| 140     | 20        | 15,1       | 7,3        | 6,3        | 4,3        | 4,7        |
| 150     |           | 16,5       | 8          | 6,8        | 4,8        | 5,1        |
| 160     |           | 18,4       | 8,7        | 7,4        | 5,2        | 5,5        |
| 170     |           | 20         | 9,5        | 8          | 5,8        | 6          |
| 180     |           |            | 10,3       | 8,5        | 6,4        | 6,5        |
| 190     |           |            | 11,6       | 9,3        | 6,8        | 7          |
| 200     |           |            | 12,1       | 9,8        | 7,3        | 7,4        |
| 210     |           |            | 13,2       | 10,5       | 7,8        | 8,1        |
| 220     |           |            | 14,2       | 11,1       | 8,1        | 8,7        |
| 230     |           |            | 15,5       | 11,8       | 8,6        | 9,4        |
| 240     |           |            | 16,9       | 12,4       | 9,1        | 9,8        |
| 250     |           |            | 18,3       | 13,1       | 9,5        | 10,4       |
| 260     |           |            | 20         | 13,8       | 10,1       | 10,8       |
| 270     |           |            |            | 14,5       | 10,6       | 11,4       |
| 280     |           |            |            | 15,4       |            | 12         |
| 290     |           |            |            | 16,2       |            | 12,6       |
| 300     |           |            |            | 16,9       |            | 13,3       |
| 310     |           |            |            | 17,7       |            | 13,8       |
| 320     |           |            |            | 18,7       |            |            |
| 330     |           |            |            | 19,4       |            |            |
| 340     |           |            |            | 20         |            |            |

**Tab. 3. 5** Závislost objemu  $V$  (ml) na čase  $t$  (min) - průběh úniku  $CO_2$ 

| t (min) | 0 min UVA | 10 min UVA | 20 min UVA | 30 min UVA | 40 min UVA | 60 min UVA |
|---------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0       | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 10      | 1,5       | 1,2        | 1,1        | 0          | 1,1        | 0          |
| 20      | 2,2       | 1,3        | 1,1        | 0          | 1,2        | 1,2        |
| 30      | 2,9       | 1,4        | 1,2        | 1,5        | 1,3        | 1,8        |
| 40      | 3,8       | 1,5        | 1,2        | 1,7        | 1,5        | 2,2        |
| 50      | 5         | 1,7        | 1,3        | 2,2        | 1,6        | 2,7        |
| 60      | 6,1       | 2,3        | 1,8        | 3          | 1,7        | 3,5        |
| 70      | 7,9       | 2,9        | 2,1        | 3,9        | 1,9        | 8,4        |
| 80      | 9,7       | 4          | 2,7        | 5          | 2,3        | 9,9        |
| 90      | 11,5      | 4,9        | 3,9        | 6,4        | 2,7        | 12,3       |
| 100     | 13        | 6,2        | 5,1        | 8          | 3,3        | 14,6       |
| 110     | 15        | 8          | 6,4        | 10,2       | 4          | 17,5       |
| 120     | 17,2      | 9,6        | 7,8        | 12,2       | 5,2        | 20         |
| 130     | 19,1      | 11,3       | 9,3        | 15,2       | 10,1       |            |
| 140     | 20        | 13         | 11,4       | 17,7       | 11,6       |            |
| 150     |           | 14,8       | 13,3       | 20         | 13,4       |            |
| 160     |           | 17,1       | 15,8       |            | 14,6       |            |
| 170     |           | 19,1       | 17,9       |            | 15,4       |            |
| 180     |           | 20         | 20         |            | 16,2       |            |
| 190     |           |            |            |            | 17,1       |            |
| 200     |           |            |            |            | 19,1       |            |
| 210     |           |            |            |            | 20         |            |



**Tab. 3.6** Závislost objemu  $V$  (ml) na čase  $t$  (min) - průběh úniku  $\text{CO}_2$ 

| t (min) | 0 min UVA | 10 min UVA | 20 min UVA | 30 min UVA | 40 min UVA | 60 min UVA |
|---------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0       | 0         | 0          |            | 0          | 0          | 0          |
| 120     | 1         | 1,5        |            |            | 0          | 0          |
| 130     |           |            | 1          |            |            | 0          |
| 180     |           |            | 1,2        |            |            |            |
| 190     | 1         | 1,7        |            |            |            |            |
| 210     |           |            |            |            | 1,1        | 0          |
| 230     |           |            |            |            | 1,2        | 1,3        |
| 240     |           |            |            | 1          | 1,3        | 1,6        |
| 250     |           |            |            |            | 1,5        | 1,6        |
| 260     |           |            | 1,3        |            | 1,5        | 1,6        |
| 270     |           |            |            |            | 1,6        | 1,6        |
| 280     |           |            |            |            | 1,6        | 1,6        |
| 290     |           |            |            |            | 1,6        | 1,8        |
| 300     |           |            |            |            | 1,6        | 1,8        |
| 310     |           |            | 6          |            | 1,6        | 1,8        |
| 320     |           |            |            |            | 1,6        | 2          |
| 330     |           |            |            |            | 1,6        | 2,1        |
| 340     |           |            |            |            | 1,6        | 2,1        |
| 350     |           |            |            |            | 1,6        | 2,1        |
| 390     |           |            |            |            | 6,8        | 2,2        |
| 480     |           |            |            | 2,8        |            |            |
| 535     |           |            |            | 3,3        |            |            |
| 565     |           |            |            | 3,7        |            |            |
| 625     |           |            |            | 4,3        |            |            |
| 645     |           |            |            | 4,6        |            |            |
| 655     |           |            |            | 4,7        |            |            |
| 665     |           |            |            | 4,8        |            |            |
| 675     |           |            |            | 5          |            |            |
| 685     |           |            |            | 5,2        |            |            |
| 695     |           |            |            | 5,3        |            |            |
| 705     |           |            |            | 5,5        |            |            |
| 715     |           |            |            | 5,7        |            |            |
| 725     |           |            |            | 5,8        |            |            |
| 735     |           |            |            | 6          |            |            |
| 745     |           |            |            | 6,1        |            |            |
| 750     | 13,9      | 12,4       |            |            |            |            |
| 755     |           |            |            | 6,3        |            |            |
| 765     |           |            |            | 6,5        |            |            |
| 775     |           |            |            | 6,8        |            |            |
| 785     |           |            |            | 7          |            |            |
| 795     |           |            |            | 7,2        |            |            |
| 805     |           |            |            | 7,3        |            |            |
| 780     | 15,2      | 13,8       | 6,5        |            |            |            |
| 810     | 16,8      | 15,3       | 7,2        |            |            |            |
| 815     |           |            |            | 7,6        |            |            |
| 825     |           |            |            | 7,8        |            |            |
| 835     |           |            |            | 7,9        |            |            |

|      |      |      |      |      |     |      |
|------|------|------|------|------|-----|------|
| 840  |      |      | 8,1  |      |     |      |
| 845  |      |      |      | 8,1  |     |      |
| 855  | 19,3 | 17,4 |      | 8,4  |     |      |
| 860  |      |      |      |      | 7,6 | 24,5 |
| 865  | 20   | 18,1 |      | 8,6  |     |      |
| 875  |      | 18,7 |      | 8,8  |     |      |
| 885  |      | 19,2 | 8,5  | 9,1  |     |      |
| 890  |      |      |      |      | 8,1 | 26,1 |
| 895  |      | 19,7 | 8,8  | 9,4  |     |      |
| 905  |      | 20   | 9,1  | 9,6  |     |      |
| 915  |      |      | 9,5  | 9,8  |     |      |
| 920  |      |      |      |      | 9,4 |      |
| 925  |      |      | 9,8  | 10   |     |      |
| 935  |      |      | 10,1 | 10,3 |     |      |
| 945  |      |      | 10,5 | 10,5 |     |      |
| 955  |      |      | 10,8 | 10,7 |     |      |
| 965  |      |      | 11,1 | 11,2 |     |      |
| 975  |      |      | 11,5 | 11,3 |     |      |
| 985  |      |      | 11,8 | 11,8 |     |      |
| 995  |      |      | 12,1 | 11,9 |     |      |
| 1005 |      |      | 12,4 | 12,2 |     |      |
| 1015 |      |      | 12,8 | 12,6 |     |      |
| 1025 |      |      | 13,3 | 12,9 |     |      |
| 1035 |      |      | 13,8 | 13,2 |     |      |
| 1045 |      |      | 13,9 | 13,4 |     |      |
| 1055 |      |      | 14,3 | 13,7 |     |      |
| 1065 |      |      | 14,8 | 14   |     |      |
| 1075 |      |      | 15,1 | 14,5 |     |      |
| 1085 |      |      | 15,4 | 15   |     |      |
| 1095 |      |      | 16   | 15,5 |     |      |
| 1105 |      |      | 16,4 | 16   |     |      |
| 1115 |      |      | 16,8 | 16,5 |     |      |
| 1125 |      |      | 17,3 | 16,9 |     |      |
| 1135 |      |      | 17,8 | 17,4 |     |      |
| 1145 |      |      | 18,2 | 17,9 |     |      |
| 1155 |      |      | 18,6 | 18,3 |     |      |
| 1165 |      |      | 19   | 18,9 |     |      |
| 1175 |      |      | 19,3 | 19,3 |     |      |
| 1185 |      |      | 19,7 | 20   |     |      |
| 1195 |      |      | 20   |      |     |      |

**Tab. 3. 7** Závislost objemu  $V$  (ml) na čase  $t$  (min) - průběh úniku  $\text{CO}_2$ 

| t (min) | 0 min UVA | 10 min UVA | 20 min UVA | 30 min UVA | 40 min UVA | 60 min UVA |
|---------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0       | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 10      | 1,2       | 1,2        | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 20      | 1,4       | 1,4        | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 30      | 1,9       | 1,6        | 1,3        | 1,2        | 0          | 0          |
| 40      | 2,5       | 1,8        | 1,6        | 1,3        | 1,2        | 0          |
| 50      | 3,3       | 2,2        | 1,9        | 1,6        | 1,4        | 1,1        |
| 60      | 4,1       | 2,6        | 2,4        | 1,9        | 1,6        | 1,1        |
| 70      | 5,3       | 3,1        | 3          | 2,4        | 1,7        | 1,2        |
| 80      | 7         | 3,6        | 4          | 2,7        | 2,1        | 1,2        |
| 90      | 9,1       | 4,5        | 4,9        | 3,5        | 2,6        | 1,4        |
| 100     | 10,5      | 5,2        | 6,5        | 4          | 3          | 1,7        |
| 110     | 12,3      | 6,4        | 7,7        | 4,9        | 3,9        | 2,2        |
| 120     | 14,2      | 7,9        | 9,6        | 5,9        | 4,9        | 2,7        |
| 130     | 16,3      | 9,2        | 12         | 7,4        | 6,2        | 3,3        |
| 140     | 18,1      | 10,5       | 14         | 8,5        | 7,7        | 4          |
| 150     | 20        | 12         | 16,1       | 10,4       | 9,2        | 4,5        |
| 160     |           | 13,5       | 17,2       | 12,7       | 11,2       | 5,3        |
| 170     |           | 15,3       | 20         | 14,6       | 13,3       | 6,3        |
| 180     |           | 17         |            | 16,4       | 15,9       | 7,4        |
| 190     |           | 19         |            | 17,6       | 18,1       | 8,9        |
| 200     |           | 20         |            | 20         | 20         | 10,2       |
| 210     |           |            |            |            |            | 12,1       |
| 240     |           |            |            |            |            | 18         |
| 250     |           |            |            |            |            | 19,1       |
| 260     |           |            |            |            |            | 20         |

**Tab. 3. 8** Závislost objemu  $V$  (ml) na čase  $t$  (min) - průběh úniku  $\text{CO}_2$ 

| t (min) | 0 min UVA | 10 min UVA | 20 min UVA | 30 min UVA | 40 min UVA | 60 min UVA |
|---------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 70      | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 80      | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 1,1        |
| 100     | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 1,2        |
| 120     | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 1,2        |
| 130     | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 1,3        |
| 190     | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 1,3        |
| 230     | 0         | 0          | 0          | 1          | 0          | 1,3        |
| 290     | 0         | 0          | 0          | 1          | 0          | 1,3        |
| 470     |           |            | 0          |            | 0          | 1,3        |
| 480     |           |            |            | 3,2        |            |            |
| 535     |           |            |            | 3,7        |            |            |
| 565     |           |            |            | 3,9        |            |            |
| 625     |           |            |            | 4,8        |            |            |
| 645     |           |            |            | 4,9        |            |            |
| 655     |           |            |            | 5          |            |            |
| 665     |           |            |            | 5,3        |            |            |
| 675     |           |            |            | 5,5        |            |            |
| 685     |           |            |            | 5,6        |            |            |
| 695     |           |            |            | 5,7        |            |            |
| 705     |           |            |            | 6          |            |            |
| 710     | 4,7       | 2,5        | 0          |            |            |            |
| 715     |           |            |            | 6,2        |            |            |
| 725     |           |            |            | 6,4        |            |            |
| 730     | 5         | 2,6        | 0          |            |            |            |
| 735     |           |            |            | 6,6        |            |            |
| 745     |           |            |            | 6,9        |            |            |
| 750     | 5,4       | 2,7        | 3,4        |            |            |            |
| 755     |           |            |            | 7,1        |            |            |
| 760     | 5,5       | 2,7        |            |            |            |            |
| 765     |           |            |            | 7,3        |            |            |
| 770     | 5,6       | 2,8        | 3,6        |            |            |            |
| 775     |           |            |            | 7,5        |            |            |
| 780     | 5,8       | 2,8        |            |            |            |            |
| 785     |           |            |            | 7,7        |            |            |
| 790     | 6,1       | 2,8        | 3,8        |            |            |            |
| 795     |           |            |            | 7,9        |            |            |
| 800     | 6,2       | 2,8        | 3,8        |            |            |            |
| 805     |           |            |            | 8,1        |            |            |
| 810     |           |            | 3,9        |            |            |            |
| 815     |           |            |            | 8,6        |            |            |
| 820     |           |            | 4          |            |            |            |
| 825     |           |            |            | 8,8        |            |            |
| 830     | 7         | 2,9        | 4          |            | 9,8        | 7,4        |
| 835     |           |            |            | 9          |            |            |
| 840     |           |            | 4,1        |            |            |            |
| 845     |           |            |            | 9,2        |            |            |
| 850     | 7,6       | 3,1        |            |            | 10,5       | 7,9        |

|      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 855  |      |      |      | 9,7  |      |      |
| 860  | 8    | 3,5  |      |      |      |      |
| 865  |      |      |      | 9,9  |      |      |
| 870  | 8,2  | 3,7  | 4,6  |      | 11,2 | 8,4  |
| 875  |      |      |      | 10,1 |      |      |
| 880  | 8,5  | 3,7  |      |      | 11,4 | 8,5  |
| 885  |      |      |      | 10,3 |      |      |
| 890  | 8,9  | 3,9  | 5,1  |      | 11,6 | 8,6  |
| 895  |      |      |      | 10,7 |      |      |
| 900  | 9,2  | 4,1  | 5,4  |      | 11,7 | 8,7  |
| 905  |      |      |      | 11   |      |      |
| 910  | 9,5  | 4,2  | 5,7  |      | 12   | 8,8  |
| 915  |      |      |      | 11,4 |      |      |
| 920  | 9,9  | 4,4  | 6    |      | 12,6 | 9,1  |
| 925  |      |      |      | 11,6 |      |      |
| 930  | 10,2 | 4,5  | 6,3  |      |      |      |
| 935  |      |      |      | 12,1 |      |      |
| 940  | 10,6 | 4,7  | 6,5  |      |      |      |
| 945  |      |      |      | 12,3 |      |      |
| 950  |      |      | 6,8  |      | 14   | 10,3 |
| 955  |      |      |      | 12,6 |      |      |
| 960  |      |      | 7,1  |      |      |      |
| 965  |      |      |      | 13,3 |      |      |
| 970  |      |      | 7,3  |      | 15   | 11,1 |
| 975  |      |      |      | 13,5 |      |      |
| 980  |      |      | 7,7  |      | 15,6 | 11,5 |
| 985  |      |      |      | 13,8 |      |      |
| 990  |      |      |      |      | 16   | 11,8 |
| 995  |      |      |      | 14,4 |      |      |
| 1000 |      |      |      |      | 16,6 | 12,3 |
| 1005 |      |      |      | 14,7 |      |      |
| 1010 |      |      |      |      | 17,1 | 12,6 |
| 1015 |      |      |      | 15,1 |      |      |
| 1020 | 13,8 | 6,5  |      |      | 17,8 | 13   |
| 1025 |      |      |      | 15,5 |      |      |
| 1030 | 14,4 | 6,7  |      |      | 18,3 | 13,4 |
| 1035 |      |      |      | 15,9 |      |      |
| 1040 | 15   | 7,1  |      |      | 18,9 | 13,9 |
| 1045 |      |      |      | 16,3 |      |      |
| 1050 | 15,7 | 7,4  |      |      | 19,4 | 14,3 |
| 1055 |      |      |      | 16,7 |      |      |
| 1060 | 16,3 | 7,7  | 10,4 |      | 20   | 14,7 |
| 1065 |      |      |      | 17,1 |      |      |
| 1070 | 16,9 | 8    | 10,6 |      |      |      |
| 1080 | 17,6 | 8,5  | 11,1 |      |      |      |
| 1090 | 18,3 | 8,8  | 11,5 |      |      |      |
| 1100 | 19   | 9,2  | 11,9 |      |      |      |
| 1110 | 19,7 | 9,6  | 12,3 |      |      |      |
| 1120 | 20   | 10,1 | 12,9 |      |      |      |
| 1130 |      | 10,5 | 13,3 |      |      |      |

|      |  |      |      |  |  |      |
|------|--|------|------|--|--|------|
| 1140 |  | 10,9 | 13,8 |  |  | 18,5 |
| 1150 |  | 11,4 | 14,3 |  |  | 19   |
| 1160 |  | 11,8 | 14,8 |  |  | 19,5 |
| 1170 |  | 12,2 | 15,3 |  |  | 20   |
| 1180 |  | 12,7 | 15,9 |  |  |      |
| 1190 |  | 13,2 | 16,4 |  |  |      |
| 1200 |  | 13,7 | 16,8 |  |  |      |
| 1210 |  | 14,1 | 17,3 |  |  |      |
| 1220 |  | 14,6 | 17,8 |  |  |      |
| 1230 |  | 15,1 | 18,4 |  |  |      |
| 1240 |  | 15,6 | 18,9 |  |  |      |
| 1250 |  | 16,1 | 19,4 |  |  |      |
| 1260 |  |      | 20   |  |  |      |